

令和 5 年度  
建設技術報告会  
報文集

令和 6 年 1月

北陸地方建設事業推進協議会

令和 5 年度「建設技術報告会」実行委員会

## 目 次

### ■報告技術

技術番号	区分	技術名	発表者	所属	頁
<b>テーマ:① i-constructionによる生産性向上、インフラ分野のDX</b>					
1	河川	ダムコンクリートの高速運搬技術「SCプレミアムベルコン」	山下 哲一	清水建設株式会社	1
2	河川	ダム工事を一元管理するダム統括管理システムの開発	杉野 裕之	前田建設工業株式会社	5
3	港湾	新潟空港の埋立護岸空洞化要因の特定手法について	東宮 真琴	国土交通省北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所	9
4	道路	山岳トンネルの鏡吹付け管理システムの開発	宮嶋 保幸	鹿島建設株式会社	13
5	道路	橋梁リニューアル統合管理システム「OBRIS」の開発	日暮 一正	株式会社大林組	17
6	共通	法面工を対象とした、モバイル端末による高精度3D地上写真測量の試行	太刀川 翼	株式会社興和	21
7	共通	土質定数推定システム「サウンディングAI」	秋本 哲平	五洋建設株式会社	25
8	共通	音響カメラ搭載型ROV	安藤 恒平	株式会社本間組	29
<b>テーマ:② 社会資本の的確な維持管理・更新</b>					
9	道路	コンクリート床版用橋面舗装の端部防水工法	渡辺 直利	福田道路株式会社	33
10	道路	「塩分吸着剤」を添加した交換可能な成型パネルの接合による塩害抑止工法の開発	井貝 武史	株式会社福田組	37
11	道路	防水および塩分吸着性能を兼ね備えた薄層表面処理工法『CAMシールNEOプラス』	園田 涼	東亜道路工業株式会社	41
12	道路	積雪寒冷地に対応したひび割れ抑制舗装技術	畠山 良二	福田道路株式会社	45
13	道路	大深度消雪井戸における、VP管による二重ケーシング施工のためのソケット開発	坂井 祐史	株式会社興和	49
14	共通	改築推進であるペルリプレイス工法を用いた水道管(ダクタイル鉄管)への適用	上田 信二	真柄建設株式会社	53
<b>テーマ:③ 雪に強い地域づくり</b>					
15	道路	スタック車両における『緊急脱出用具』の試行導入に向けた、フィールド試験結果の報告	後藤 大地	国土交通省 北陸地方整備局 北陸雪害対策技術センター	57
16	道路	凍結抑制型音響道路-メロディザベックについて-	柳沼 伶奈	世纪東急工業株式会社	61
<b>テーマ:④ 自然災害からの安全確保</b>					
17	港湾	両津港の定期航路安定を目指した耐震改良設計	八木 一樹	国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所	65
<b>テーマ:⑤ 環境の保全と創造</b>					
18	道路	散布型路上表層再生工法『エリクサーシール』	深谷 美優	東亜道路工業株式会社	69
19	港湾	CO <sub>2</sub> 固定型コンクリートの消波ブロック適用に向けた検討	昇 悟志	株式会社不動テトラ	73
<b>テーマ:⑥ その他</b>					
20	道路	自己充填覆工構築システムの開発	弘光 太郎	佐藤工業株式会社	77
21	共通	石川県における建設業の働き方改革の推進について ～いしかわ週休2日工事・ICTの活用等～	濱野 仁樹	石川県	81

① i-construction による生産性向上、インフラ分野の DX

# ダムコンクリートの高速運搬技術「SC プレミアムベルコン」

清水建設株式会社 土木技術本部 ダム統括部 主査 ○山下 哲一  
ダム統括部 萩野 幹久  
基盤技術部 山口 浩

## 1 はじめに

近年、超大型台風の襲来や集中豪雨等の異常気象が多発しており、治水等により安全・安心な暮らしを保障できる社会基盤の構築が急務となっている。特に、ダムは集中豪雨時に洪水調節を行うことで、周辺地域の洪水を防止するための極めて重要な施設である。近年はコンクリートダムの建設が多く、コンクリートダム工事においては、コンクリート打設がコストの6割、工程の5割を占めており、コンクリート運搬設備はダムの生産性向上に特に重要である。このため、ダムの急斜面を直接運搬でき、かつ運搬能力の高い設備「SC プレミアムベルコン」の開発に取り組んだ。

本稿では福島県いわき市に設置した実証試験機（傾斜45度）を用いた試験の内容（コンクリート運搬、高速運搬、ヘッドフレーム引き上げ、上向き運搬）及び運搬時の品質試験の結果を報告する。

## 2. 開発の目的

### 2. 1 背景

従来、大型のコンクリートダム建設工事では、固定式ケーブルクレーンをコンクリート運搬設備として採用している事例が多く見られる。20tケーブルクレーンと 6.0m<sup>3</sup> コンクリートバケットを使用しても運搬能力は平均 100m<sup>3</sup>/h 程度である。

## 2. 2 目的

上記の観点から、ダムの急傾斜面（約45度）を最短距離で運搬でき、かつ運搬能力の高い設備（200m<sup>3</sup>/h）を目標に開発を行った。なお、高速運搬に伴うコンクリートの材料分離にも配慮する必要があることから、運搬能力に加えコンクリートの品質を確保できる設備を目標として掲げた。

## 2. 3 袋状ベルトコンベヤの採用

本開発では、ドイツコンチテック社が保有する袋状ベルトコンベヤに着目した（図-1）。

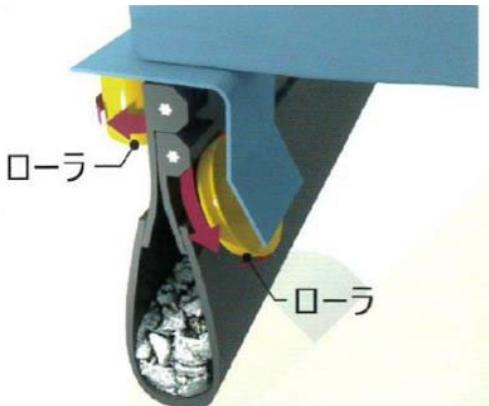


図-1 袋状ベルトコンベヤ

ベルトコンベヤはコンクリートを包み込んで運搬することで、材料分離を抑制可能である。また、ベルトコンベヤはベルトスピードの高速化により、運搬能力を高められる。平地での運搬能力（最大400m<sup>3</sup>/h）から、斜面部でも200m<sup>3</sup>/h以上は確保できると想定された。

### 3 実証試験報告

実証試験は、以下の日程で福島県いわき市に設置した実証試験機（下向き 45 度）で実施した（表-1）。なお、それぞれの試験時にはコンクリートの品質確認を併せて実施した。

表-1 実証試験一覧

年月	試験内容
令和4年3月	実証試験機設置完了
令和4年4月	疑似 RCD コンクリート運搬試験
令和4年9月	有スランプコンクリート運搬試験
令和4年10月	高速運搬試験
令和5年1月	ヘッドフレーム引上げ・上向き試験

#### 3. 1 運搬関連試験

##### 3. 1. 1 疑似 RCD コンクリート運搬試験

RCD コンクリート（スランプ 0cm）を模擬した材料（セメントの代わりに石灰石微粉末・骨材・水を混合）を、ベルトスピード 150m/min で運搬し、運搬能力 210m<sup>3</sup>/h (500t/h) を確認した。本設備を導入予定のダムではコンクリート製造設備は 3.0m<sup>3</sup>×2 型（ミキサ 2 基）、公称能力 180m<sup>3</sup>/h であり、本運搬設備は製造設備に対して充分な能力を有することが確認できた。

##### 3. 1. 2 有スランプコンクリート運搬試験

有スランプコンクリート（スランプ 3cm, 5cm, 8cm, 12cm）をベルトスピード 150m/min で運搬し、運搬能力 210m<sup>3</sup>/h (500t/h) を確認した。

##### 3. 1. 3 高速運搬試験

SC プレミアムベルコンの最大運搬能力を確認するため、ベルトスピードを 150m/min ⇒ 170m/min ⇒ 200m/min ⇒ 230m/min と変化させて運搬試験を行った。なお、ベルトスピードの最大値は 230m/min である。

ベルト速度 200m/min まではベルトの挙動には

全く問題がなかったが、230m/min ではベルトが大きく上下に揺れ、非常停止センサが反応したケースもあった。このため、本実証実験機の傾斜 45 度での定常運転はベルト速度 200m/min までと考えた。コンクリートの運搬量は以下の式で換算できる。

$$Q = 60 \times A \times V \times \gamma_1 / \gamma_2$$

ここに  $Q$  は運搬量 (m<sup>3</sup>/h),  $A$  はベルト断面積 (m<sup>2</sup>),  $V$  はベルト速度 (m/min),  $\gamma_1$  は締固め前の単位体積重量 (t/m<sup>3</sup>),  $\gamma_2$  は締固め後の単位体積重量 (t/m<sup>3</sup>) である。

ベルト速度 200m/min, ベルト断面積 0.0333m<sup>2</sup>,  $\gamma_1 = 1.70$ ,  $\gamma_2 = 2.42$  から,  $Q = 280\text{m}^3/\text{h}$  となり、下り急勾配 (45 度) の最大運搬能力は 280m<sup>3</sup>/h であることが確認できた。

##### 3. 1. 4 ヘッドフレーム引上げ試験

ダムコンクリートの打設では、打設進捗に伴いコンクリート打設面が上昇するため、運搬設備を引き上げる必要がある。SC プレミアムベルコンは、脱着可能なフレーム（脱着式定置フレーム）を装備している（写真-1）。フレームを撤去し、ヘッドフレームを引き上げることで打設進捗に追随する構造である。

脱着式定置フレームの撤去、ヘッドフレームの引上げ試験を実施し（写真-2），約 2 時間で作業を完了できた。打設の休止時間（半日程度）で問題なく引上げ可能である。



写真-1 脱着式定置フレーム



写真-2 フレーム引抜き、引上げ

### 3. 1. 5 上向き運搬試験

実証試験機は下向き運搬（傾斜 45 度）用のため、上向き（20 度）運搬試験は、古河産機システムズ小山工場のデモンストレート機を用いて実施した（写真-3）。



写真-3 上向き運搬試験

疑似 RCD コンクリート及び有スランプコンクリートを用いて運搬試験を行い、コンクリートが分離せず、適切に運搬できることを確認した。

### 3. 2 品質確認試験

#### 3. 2. 1 疑似 RCD コンクリート品質試験

疑似 RDC コンクリートについては、既往の研究より運搬前後の 40mm 以上の粗骨材量の差から評価した。以下に評価式を示す。

$$\alpha = \frac{\theta_{1G40} - \theta_{2G40}}{\theta_{1G40} + \theta_{2G40}} \times 100(\%) \quad (1) \text{式}$$

$$\theta_{G40} = \frac{W_{G40}}{W_{com}} \times 100(\%) \quad (2) \text{式}$$

ここに、 $\alpha$  は 40mm 以上の粗骨材量の差、 $\theta_{1G40}$  は運搬前の 40mm 以上の粗骨材量、 $\theta_{2G40}$  は運搬後の 40mm 以上の粗骨材量、 $W_{com}$  は採取試料の重量、 $W_{G40}$  は 40mm 以上の粗骨材重量である。材料運搬前後の粗骨材量の差について、目標を  $\alpha \leq 10\%$  に設定し、材料分離抵抗性を確認した。

各試験水準 3 回、3m<sup>3</sup>/回の運搬試験を実施し、その平均値を示している（図-2）。ベルト速度を 130⇒150⇒170⇒230m/min と変化させた。運搬速度、容積率による顕著な傾向は見られず、いずれの水準において目標である  $\alpha$  値 10% 以下を満足する結果であった。

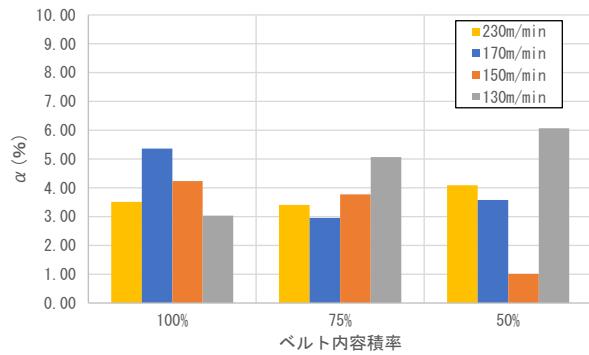


図-2 下向き 45 度運搬試験時の  $\alpha$  値

上向き 20 度の運搬試験を行った場合の品質確認も実施した（表-2）。上向き 20 度勾配においても  $\alpha$  値は目標値 10% を大きく下回り材料分離していないことを確認した。

表-2 上向き運搬試験時の  $\alpha$  値

試験ケース	40mm 以上の骨材量(%)	$\alpha$ 値
運搬前	21.6	1.51
運搬後	22.2	

上向き 20 度運搬において材料分離させず運搬可能であることが確認できた。

#### 3. 2. 2 有スランプコンクリート品質試験

有スランプコンクリートでは、運搬前後の空気量、スランプ、圧縮強度の検証を行った。

下向き 45 度の運搬試験では、ベルト速度 150m/min、230m/min で試験を実施した。

空気量は、運搬前後で若干の低下傾向がみられた（図-3）。スランプも同様に、運搬前後で若干の低下傾向がみられた（図-4）。原因としては、空気量の減少がスランプの低下に繋がっていると推察される。圧縮強度は、運搬前後での顕著な差はなかった（図-5）。

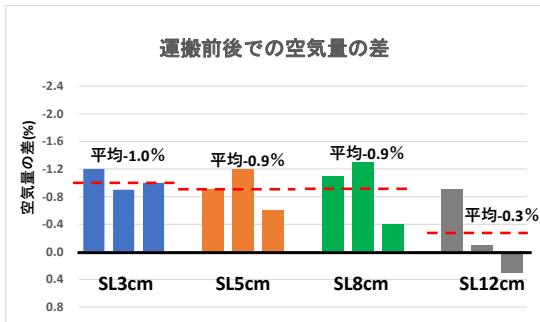


図-3 運搬前後での空気量の差

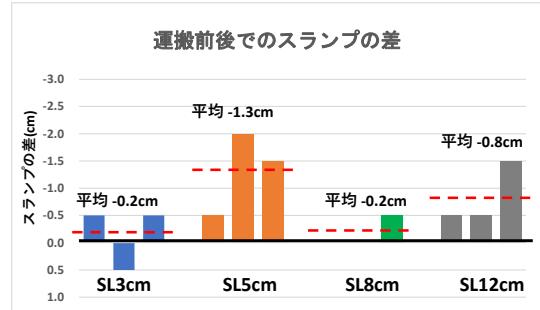


図-4 運搬前後のスランプの差

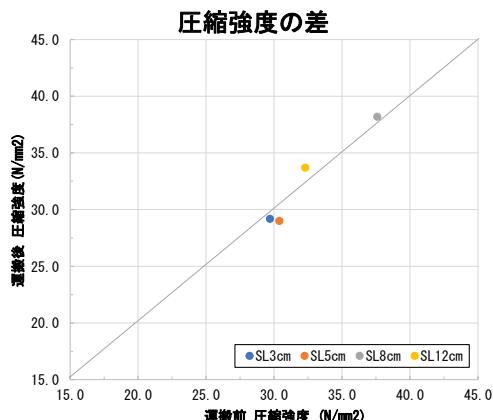


図-5 圧縮強度の差

上向き 20 度の運搬試験では、運搬前後で空気量の低下は認められなかった(図-6)。コンクリートの投入を人力で行い、落下の衝撃を排除したことが要因と考えられる。この結果から運搬が空気量に及ぼす影響は少ないと想定される。

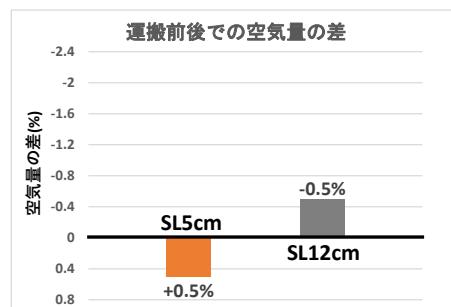


図-6 運搬前後の空気量の差

スランプも運搬前後で差ではなく、流動性を損

なわずに運搬可能である(図-7)。

また、圧縮強度についても、運搬前後で顕著な差は認められなかった(図-8)。

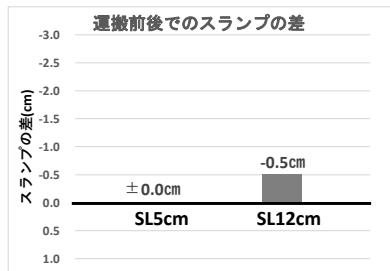


図-7 運搬前後のスランプの差

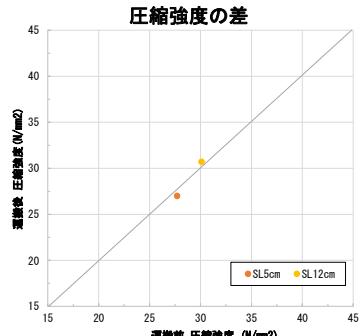


図-8 運搬前後の圧縮強度の差

#### 4. おわりに

本試験結果から SC プレミアムベルコンは、下向き 45 度において最大運搬能力 280m<sup>3</sup>/h を有し、打設進捗に伴うヘッドフレームの引上げを短時間に実施可能であり、上向きの運搬にも対応可能であることが確認できた。

また、疑似 RCD コンクリート及び有スランプコンクリートにおいて品質に変動なく運搬が可能であることも確認できた。

以上の結果から、SC プレミアムベルコンは、RCD 工法でも拡張レア工法でも適応可能であるといえる。

なお、本試験結果で、空気量の減少傾向はコンクリート落下時の衝撃が要因であることが示唆された。2024 年春から SC プレミアムベルコンをダム現場に導入予定であるが、落下高さを抑制することで衝撃を排除し、品質の再確認を行った上で、実施工に適用する予定である。

# ダム工事を一元管理するダム統括管理システムの開発

前田建設工業(株) 本店 土木技術部 施工DX推進グループ 主幹 ○杉野 裕之  
前田建設工業(株) 本店 土木技術部 施工DX推進グループ長 森 芳樹

## 1 はじめに

建設業を含む産業界では労働人口の減少が急速に進行しており、2024年度には改正労働基準法が建設業にも適用にされるなど、労働環境が著しく変化している。そのような状況の中、建設業における労働力不足の解消や生産性向上は極めて重要な課題となっている。

国土交通省においても「インフラ分野におけるDXの推進について」などが発表され、「i-Construction」の施策のもと、デジタル技術の活用を推進しており、建設業界でも急速にICT技術の活用が広がっている。

また、ダム工事については、広範囲で行われる事業であり、工事区域内の各所でそれぞれの工種の施工が並行して進められる。

施工箇所としては、原石山、骨材製造からコンクリート/CSG製造までの各ダム用仮設備プラント、ダムサイト、骨材製造やコンクリート/CSG打設のためのそれぞれの濁水処理設備、建設発生土処理場など多岐に渡る。

その状況の中、現状は、各担当職員が各々の工事場所で施工管理を行っており、施工管理データは、各担当職員がそれぞれ管理して成果物を現場で共有している。

また、限られた職員数の中で、各職員が現場での施工管理業務、事務所での発注者対応業務等に忙殺されており、ダム工事現場において職員の生産性向上は喫緊の課題となっている。

そこで、各担当職員のデータを現場各所から直接クラウド上に共有することができるデータプラットフォームを開発した。

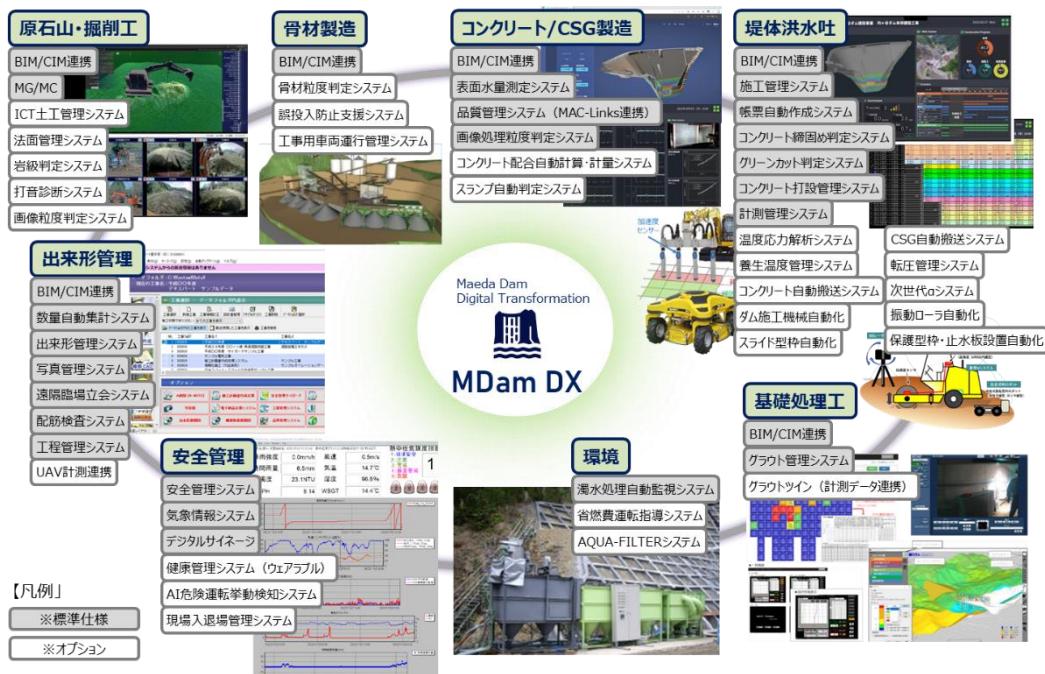


図-1 プラットフォーム概要

## 2 システム概要

ダム統括管理システムは、ダム工事現場単位で Microsoft Azure をクラウドプラットフォームとし、Dataverse をデータベースとして使用している。

ネットワークで各ダム現場、本支店、発注者などの工事関係者と繋げることができる。施工管理データや現場映像等の同じ情報を関係者で常時共有することが可能となるため、リアルタイムでコミュニケーションを図ることができ、意思決定が迅速に行えるようになる。

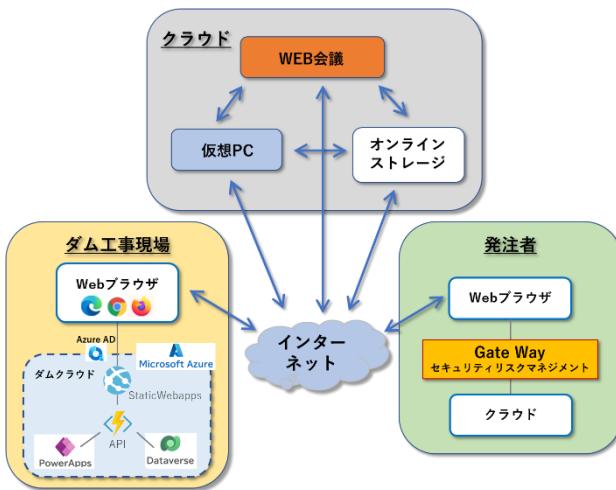


図-2 ネットワーク概要

## 3 ダム統括管理システムの開発

ダム統括管理システムでは、現場で取得する施工データを直接タブレットから工種毎に構成される各システムを通じて入力することでプラットフォームにデータが格納される。格納されたデータは、どこからでも確認することができ、現場内での情報共有、もしくは発注者と受注者の情報共有を迅速に行うことができる。

各工種の各システムから共有される施工データは、データプラットフォーム全てのデータと連携しているダッシュボードより確認することができる。ダッシュボードでは現場の現況やスケジュール等を共有できる。ダッシュボードと

各システムの連携が図られているため、ダッシュボードのメニューより所定のアプリを選択することで、各システム内のデータを確認することができる。

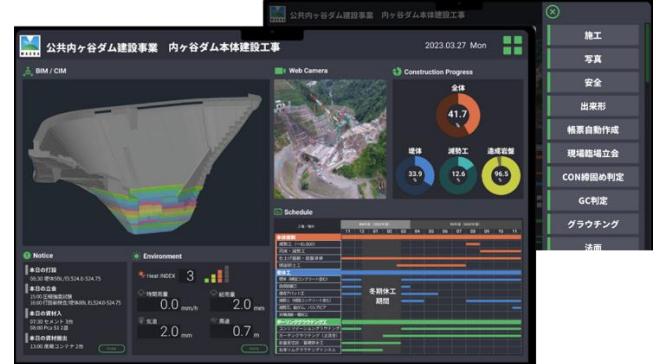


図-3 システムダッシュボード画面

## 4 帳票自動作成システム

施工管理でのデータ蓄積のために「帳票自動作成システム」を開発した。これにより現場で取得した測定値などのデータを現場で直接タブレットのアプリから入力し、自動的に各帳票類を作成することができる。これにより、各担当職員の作業効率を向上させた。

ダムサイトにおいては、打設管理データ、性状試験データ、圧縮強度試験データ等を打設現場においてその都度直接入力することで自動的に打設日報や圧縮強度試験表、数量集計表等を作成する。現場職員はいつでもブラウザ上で帳票類を確認でき、施工データをリアルタイムで共有できる。



図-4 帳票自動作成システム画面

これにより、これまで職員が現場から事務所に戻って作業していた帳票作成の時間をなくすことができ、生産性向上に寄与する。また、現場内の全員がいつでもデータ確認を容易に行うことができる。

## 5 打設管理システム

ダムコンクリート打設施工管理においては、「打設管理システム」を開発し、打設時のコンクリート注文・製造および管理をタブレットのアプリ上で行うことができるようとした。コンクリート打設進捗状況や施工履歴をシステム内において現場全体で共有することができる。

打設現場では、ダムサイトと製造プラント間で、従来無線等で確認しながらコンクリートの注文、製造を行っていたが、本システムの導入により、打設の進捗に合わせて打設現場においてコンクリートをシステム上で注文すると製造側は注文が画面上で確認でき、双方の意思疎通がより明確になり、注文・製造の確認に要していた時間が削減される。また、コンクリートの注文・製造ミス等もなくなり、効率的で無駄のない打設管理が可能となる。

注文履歴、製造実績についてもシステム画面上で誰もがリアルタイムで確認することができるため、容易に現場の状況把握を行うことができる。



図-5 打設管理システム概要

## 6 施工管理システム（リフトスケジュールU I）

データプラットフォームに共有されたデータは、別に開発した「施工管理システム（リフトスケジュールU I）」よりダム本体の任意位置でのデータを確認でき、各帳票類を出力することができる。現場の任意ブロック・リフトでの取得データは、「帳票自動作成システム」を使用してデータプラットフォームにブロック・リフトデータと共に施工データがアップされる。そのアップされたデータは、「施工管理システム」を使用することでリフトスケジュールU Iから直感的に所定のブロック・リフトの施工データを確認でき、必要に応じて関連する各帳票類を出力することができる。

また、施工データの数量集計も自動的に行うことができるため、各種施工実績や集計表もリアルタイムで確認できる。発注者との帳票類のやり取りもシステム上で行うことが可能となるため、データの共有、納品等についてもこのシステムを通じて行うことができる。

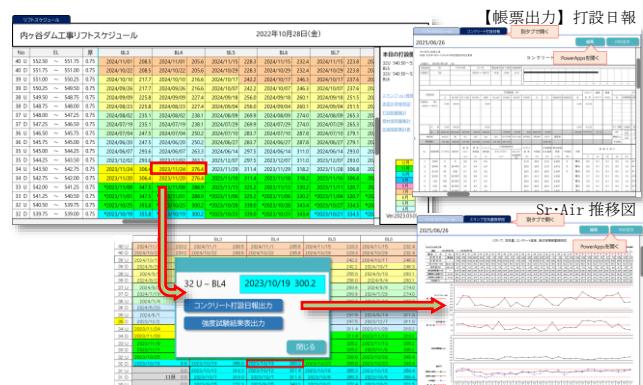


図-6 リフトスケジュールU I画面

## 7 BIM/CIM連携

「施工管理システム（リフトスケジュールU I）」は、BIM/CIM連携も可能となっている。ダッシュボードより堤体3次元モデルを表示することができ、表示画面内で任意位置のオ

プロジェクトを選択すると「施工管理システム」と連携して、任意位置の施工データを表示する。また、帳票類も表示し、確認することができる。3D モデルで確認することで、より視覚的に当該箇所の施工データを把握できる。

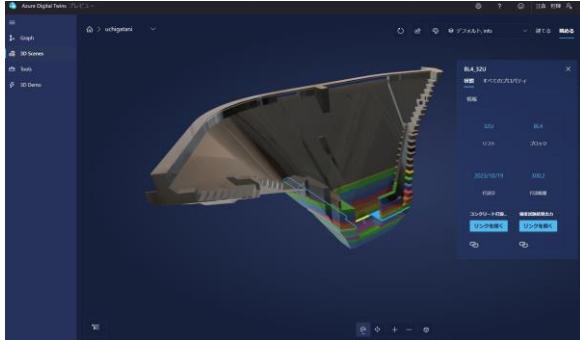


図-7 BIM/CIM連携画面

## 8 CSG品質管理システム

CSGダムにおいても品質管理データを、システムを介して任意の期間、製造ライン、品質管理データの種類等を設定することで、必要な期間の管理図を自動的に表示することができる。

これにより、品質管理データを職員により管理表、管理図を作成していた時間を削減できるため生産性の向上に寄与する。

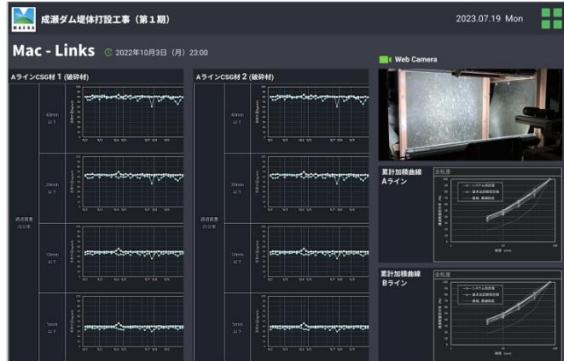


図-8 CSG品質管理システム画面

## 9 システム連携

その他の各工種における施工データについてもシステムを介してデータプラットフォームに共有されるため、リアルタイムでデータを共有できる。そのため、品質・安全等の不具合の早期

発見、施工データの早期解析等、効率的に施工管理を行うことが可能となり、工事全体での品質向上、安全性向上、生産性向上に寄与する。

システム連携の一例として、グラウチング管理システムでは、現場のどこからでもダッシュボードより現況の全ての施工箇所の削孔、注入等の施工状況を確認でき、注入圧、流量等の施工データも見える。また、帳票類も随時更新されるため、施工実績も最新のものをいつでも確認できる。ネットワークカメラを通じて各施工箇所の状況をいつでも確認することも可能で現場との通話も可能となる。BIM/CIM連携も図れどおり、ルジオンマップと地形地質モデルを3次元で確認できるため、3次元的な水理地質構造を容易に把握でき、次施工へのフィードバックを短期間で行えるため、より確実なグラウチングの施工を効果的に行うことができる。

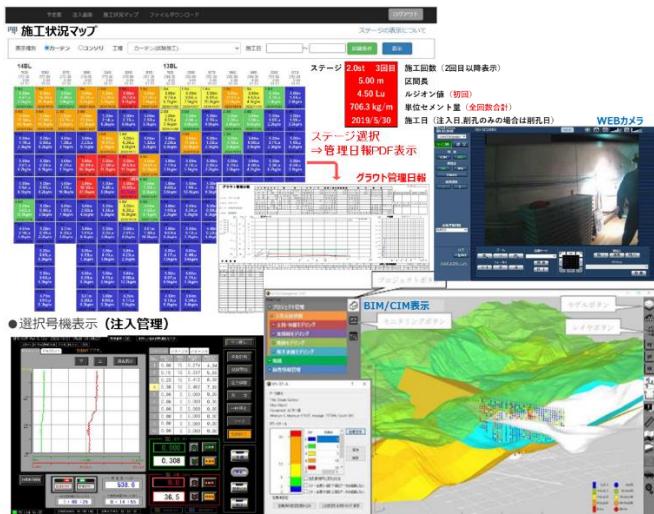


図-9 グラウト管理システム画面

## 10 おわりに

引き続き、各工種の施工データとの更なるシステム連携、およびBIM/CIM連携を図っていく、システムを拡充していく。現場全体での統括的データ共有を推し進めていくことで、工事全体での更なる品質・安全性の向上、生産性向上を図っていく。

# 新潟空港の埋立護岸空洞化要因の特定手法について

新潟港湾・空港整備事務所 第四建設管理官室 宮坂 義朗  
清水 美代  
○ 東宮 真琴

## 1 はじめに

近年、港湾や空港などの埋立護岸において背後に空洞が多数発見されている。空洞の発生要因は、防砂シートや防砂目地板の破損などがあり、破損や機能低下に至る要因も護岸構造や使用材料、自然環境、施工履歴など様々である。図-1にこれらの概念図を示す。

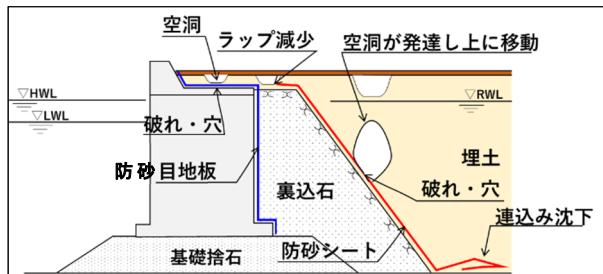


図-1 護岸空洞発生要因の概念図<sup>1)</sup>

空洞化による事故を防ぐためには、維持管理に基づく定期点検により、空洞が広がる前の小さな空洞を発見する必要があり、空洞を発見した後には再度空洞が発生しないように、空洞発生の要因を追及することが重要である。

現在、新潟空港の埋立護岸においても、空洞が多数発見されており、要因を特定して早期の復旧対策を行うことが喫緊の課題である。さらに、新潟空港においては、航空機の運航を妨げないよう留意して調査を行う必要があり、重機の高さや調査範囲等に制限がある。そのため、調査を実施するうえでは機器の軽量化・縮小化や工期短縮などが求められている。

そこで本調査では、新潟空港において、一般的に行われている空洞化調査手法に加えて調査が困難な箇所で容易に構造物調査を行うことができる手法として開発中の3次元モデル作成システムを試験的に用いた空洞化調査を実施し、空港における本システムの汎用性を確認したため、本稿で報告する。

## 2 空洞化調査について

### 2. 1 空洞化調査概要

「令和4年度 新潟空港護岸構造物調査」において埋立護岸水叩き部と場周道路の空洞化調査を実施した。本調査は、過年度に空洞を確認し応急復旧した箇所の空洞化進行具合および新規空洞発生の有無について確認することにより、空洞化要因および対策工法の特定を目的としている。実施内容を表-1に示す。図-2、3に示した調査範囲全域の深層部（-1.5m～-3.0m）および過年度に応急復旧した箇所の浅層部（-0m～-1.5m）についてレーダー探査を実施し、過年度調査で確認された空洞箇所についてスコープ調査および試験掘削による詳細調査を行なった。

実施項目	数量	備考
レーダー探査（深層部）	25,627m <sup>2</sup>	昼間：22,794m <sup>2</sup> 夜間：2,833m <sup>2</sup>
レーダー探査（浅層部）	226m <sup>2</sup>	昼間：214m <sup>2</sup> 夜間：12m <sup>2</sup>
スコープ調査	33箇所	
目視調査（試験掘削）	1箇所	掘削箇所：E-4護岸

表-1 構造物調査実施内容

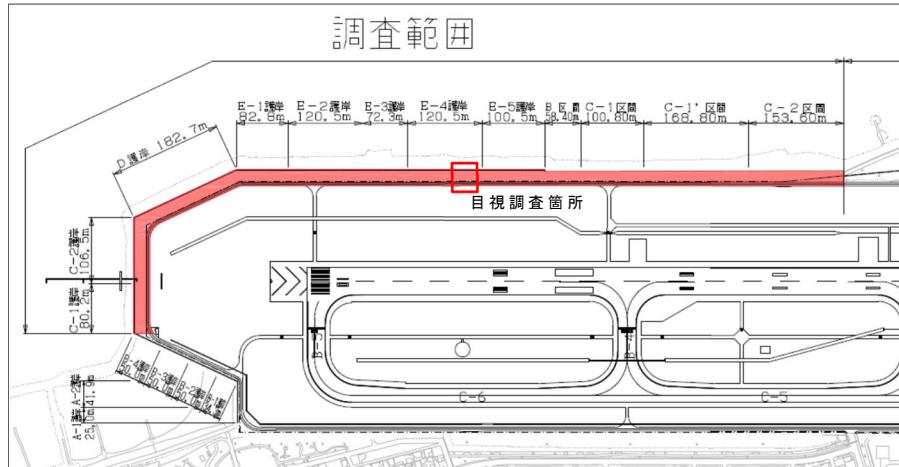


図-2 新潟空港護岸構造物調査範囲

### 3 空洞化調査結果および要因の特定

従来の調査手法を用いた調査における調査結果および、調査結果に基づいて特定した空洞化要因は以下の通りである。

#### 3. 1 調査結果

##### 3. 1. 1 レーダー探査・スコープ調査

レーダー探査では、深層部および応急復旧箇所の浅層部において、異常箇所は検出されなかつたため、応急復旧した空洞は再空洞化していないと考えられる。しかし、応急復旧箇所範囲外の浅層部で新たに9箇所の空洞が発見された。

スコープ調査では、過年度の調査結果とほぼ同様の位置で空洞が確認された。レーダー探査の結果と合わせると、大きいものでは8m<sup>3</sup>程度の空洞が確認された。

##### 3. 1. 2 試験掘削

空洞は地下水位以上に位置しており、形状はほぼ円形で底部が鍋底状であった。空洞の底部に舗装の路盤材が堆積していた。また、防砂目地板に損傷はなく、構造物に密着したままの健全な状態であった。防砂シートは一部にシートのずれや穴が確認された。

#### 3. 2 空洞化要因の特定

調査結果から特定された空洞化要因の概念図を図-3に示す。

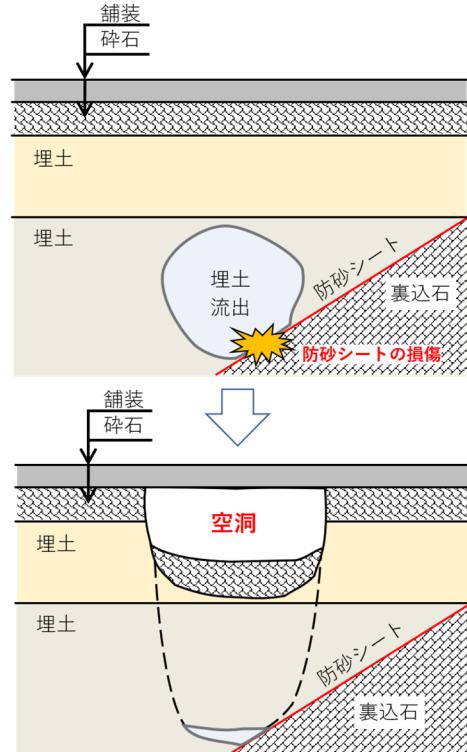


図-3 空洞化メカニズム概念図

図-3のように防砂シートの損傷によって損傷部から埋土が流出して空洞が発生し、その後その空洞が時間経過につれて拡大しながら上部へ移動すると考えられる。また、防砂シートが損傷した要因としては、①防砂シート下に鋭利な裏込石があり上からの土圧によって裂けたことや、②防砂シートがずれた時に裏込石が引っかかったことなどが考えられる。

## 4 3次元モデル作成システム

本調査では、前項までに示した従来の手法による調査に加えて、試験的に3次元モデル作成システムを用いた調査を実施した。システムの詳細を次に示す。

### 4. 1 システム概要

3次元モデル作成システムとは、3軸を持つジンバルカメラ（鉛直方向と水平方向に回転させることができるカメラ）を直径5cm程度の穴から挿入して空洞内を撮影することで、撮影画像から空洞の3次元形状モデルを容易に構築するものである。専門知識が不要かつ、安価で軽量な機材を用いて目視調査と同等の成果が得られることを目指している。目標を満たすために以下の3つの条件を設定し、これらを満足するシステムが考案されている。考案されたシステム構成を図-4に示す。

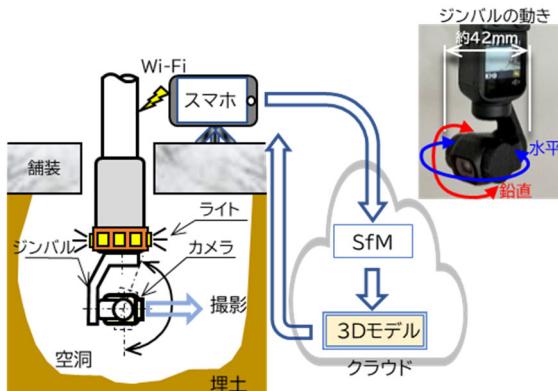


図-4 本システムの構成概念図

- ①スコープ調査と同じ直径5cm孔を利用
- ②ジンバルカメラを用いてSfM<sup>※</sup>で3次元モデルを作成

③移動が簡単で専門家を必要としない

<sup>※</sup>SfM（Structure from Motion）とは、複数画像から特徴点を検出して座標を算出し、3次元点群や形状を構築する技術である。

### 4. 2 システムを用いた調査

図-5に計測フロー図、図-6に計測状況

写真および使用器具を示す。今回はスコープ調査で削孔した箇所で計測を行なった。

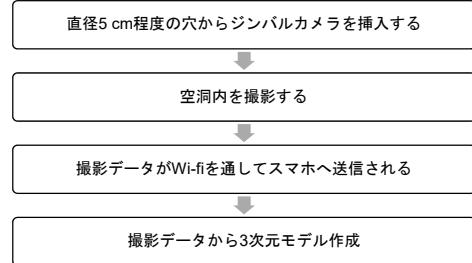


図-5 現地調査フロー図



図-6 現地計測状況と実際に使用した器具

### 4. 3 従来手法との結果の比較

図-7に本システムで生成された結果を示す。

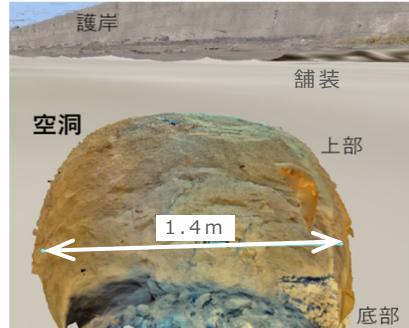


図-7 本システムで生成された結果

従来、レーダー探査で平面的に得られる結果は長方形で表され、スコープ調査の結果と合わせると、空洞は直方体形状で表される。一方、本システムで生成された3次元形状では、空洞が球状で表され、空洞内部の色や材質も確認できた。なお、計測箇所は試験掘削していないため直接大きさの比較は行なっていないが、レーダー探査との差は法線方向で0.5%程度であった。

## 5 従来の手法との比較

従来の調査手法と3次元モデル作成システムを用いた手法の比較結果を表-2にまとめた。本システムは、レーダー探査とスコープ調査をあわせて実施した場合と比較すると、平面規模については同等の精度を発揮でき、さらに空洞の形状や3次元的な広がりを計測することができる。本調査においても、実際の形状により近い球状の空洞として表現することができた。また、試験掘削と比較した場合、小規模な装備で調査が可能となり調査期間が短くコストも安価となる。装備が小規模であるため、新潟空港のような制限のある場所でも容易に用いることができる。

以上の点から、本システムの汎用性としては、桟橋構造下面の点検や天井裏・壁の中の状況確認等、多様な分野での利用が可能であると考えられるほか、3次元データが取得できることでBIM/CIMとの統合が可能となり、維持管理の高度化に資すると考えられる。

一方で、本システムは開発中のため、課題も残っている。本調査で得られた課題として、①直径5 cm程度の穴に入るほどの小型

カメラは大型カメラに比べて精度が劣る、②路面下空洞内は太陽光が入らないため照度の確保が困難といった点が挙げられる。

## 6 まとめ

本稿では、従来の手法であるレーダー探査、スコープ調査、試験掘削による空洞化調査を行うと同時に、3次元モデル作成システムによる計測を試験的に実施し、双方の結果を比較することで空港における本システムの汎用性を確認した。前述したように開発中のシステムであるものの、維持管理分野への汎用性が期待され、従来の調査手法と併用しつつ効率的かつ効果的な要因特定手法の一つとしての利用が期待される。

## 参考文献

- 中嶋道雄, 田中美帆, 高見澤拓哉, 松本裕樹, 清水利浩, 清水美代, 宮崎賢治, 東宮真琴: 路面化空洞や狭小場所の3次元形状・状態確認システムの開発, 第48回海洋開発シンポジウム, 2023

調査方法		メリット	デメリット
従来の手法	レーダ探査 + スコープ調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的な手法のため技術を持つ業者が多数いる</li> <li>比較的短時間で調査可能</li> <li>微破壊のため路面開放が早い</li> <li>試験掘削より安価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門的な知識および技術が必要</li> <li>空洞の正確な形状が不明</li> <li>直方体で表現される</li> </ul>
	試験掘削	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接目視が可能</li> <li>空洞の形状・状態を把握可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空洞箇所を特定しないとできない</li> <li>コストが比較的高い</li> <li>広範囲の路面規制が必要</li> </ul>
新技術	3次元モデル作成システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門的な知識や技術が不要</li> <li>3次元で空洞の広がりを把握可能</li> <li>遠隔地で確認可能</li> <li>人力(1kg程度)で機材運搬可能</li> <li>BIM/CIMとの統合が容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>まだ開発段階である</li> <li>空洞箇所を特定しないとできない</li> <li>試験掘削と比較すると精度が劣る</li> </ul>

表-2 従来の調査手法と3次元モデル作成システムを用いた手法の比較結果

# 山岳トンネルの鏡吹付け管理システムの開発

鹿島建設 技術研究所 グループ長 ○宮嶋 保幸  
技術研究所 研究員 山下 慧  
技術研究所 研究員 KARNALLISA DESMY HALIM

## 1 はじめに

2018年1月に、厚生労働省より「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に関するガイドライン」が公表され、鏡吹付けコンクリートの実施や切羽監視責任者の専任などの肌落ち防止対策が示された。しかし、鏡吹付けコンクリートは、現状、切羽作業員の経験と勘で施工されているなど、肌落ち対策を確実に実施することは難しい。また、切羽の地質状況は掘削ごとに変化することに加え、鏡吹付けコンクリートは掘削後ただちに施工される。そのため、切羽の地質状況を詳細に観察して評価する時間的な余裕はなく、地質状況に応じた適切な鏡吹付けコンクリートの厚さを決定することは難しい。このため、切羽の地質状況を迅速に定量評価し、地質状況に応じた鏡吹付け厚を提示し、それを管理できる技術が求められていた。そこで、地山定量評価データを利用して、地山状況に応じた鏡吹付け厚を決定する「最適鏡吹付け厚決定システ

ム」と山岳トンネル工事における鏡吹付け厚の全面管理を目的とした「3DLiDARを活用した鏡吹付け厚管理システム」を開発した。本報告では、最適鏡吹付け厚決定システムと鏡吹付け厚管理システムを活用した鏡吹付け管理システムについて報告する。

2 3DLiDARを活用した鏡吹付け厚管理システム  
本システムでは、対象物の形状や位置を正確かつリアルタイムに測定することができる3DLiDARを使用している。鏡吹付け厚の算出には、3DLiDARにより取得した吹付け前後の点群データを、任意のメッシュで区切り、その差分を計算することで算出している。本システムに使用している3DLiDARは、小型で防塵・防水規格の等級がIP67（粉塵が内部に侵入しない・水に浸しても影響しない）であるため、使用環境が過酷なトンネル坑内でも使用することができる。

図-1にシステム構成図を示す。3DLiDARは吹

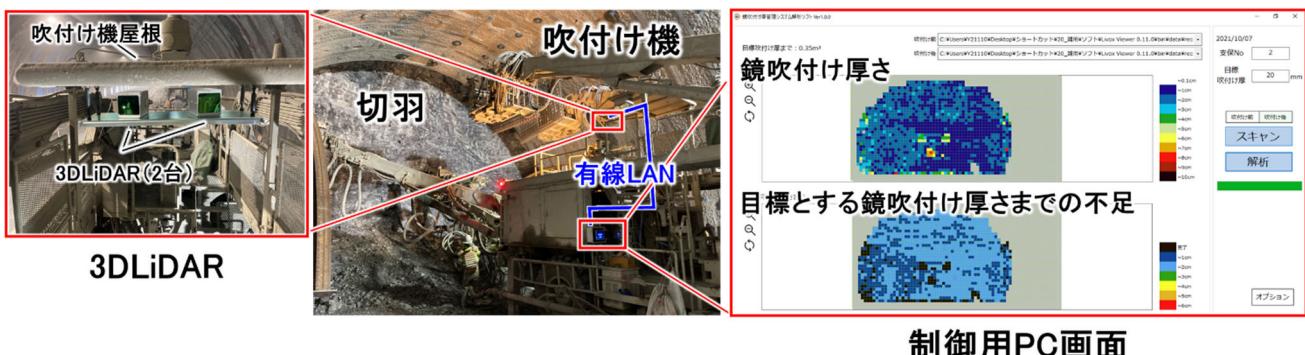


図-1 3DLiDARを活用した鏡吹付け厚管理システムの構成図

付け機屋根裏に設置し、吹付け機側方に設置している制御用 PC で計測や解析などの操作を行う。計測結果は図-1 に示すような 2 種類のコンタ一図で表示され、実際の鏡吹付け厚さや鏡目標とする吹付け厚さまでの不足分を確認することができる。

これらの機器は、有線 LAN で接続され、計測結果は有線 LAN を介して制御 PC 内に保存される。制御用 PC は遠隔操作ソフトウェアに接続されているため、事務所や本社からでも本システムを操作し、システム運用やデータ管理をすることができる。

本システムの運用フローを図-2 に示す。まず、吹付前の切羽面の計測を行う。計測完了後、吹付け作業を行い、吹付け作業が完了した時に、吹付け面の計測を行う。

吹付け前後で計測した結果に基づいて鏡吹付け厚を算出し、目標とする鏡吹付け厚に達している場合は、吹付け作業が終了となる。一方、目標とする鏡吹付け厚に達していない場合は、再度吹付け作業を行い、所定の厚さに達するまで、吹付け作業を行う。

本システムによる切羽面の計測は 5 秒程度で完了し、鏡吹付け厚の算出は 10 秒程度で完了するため、施工サイクルへの影響は小さい。

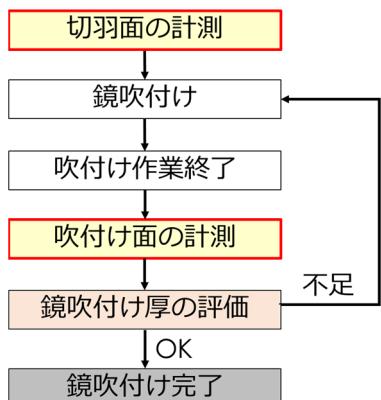


図-2 鏡吹付け厚管理システムの運用フロー

### 3 地山定量評価データを利用した最適鏡吹付け厚決定システム

#### 3. 1 最適鏡吹付け厚決定システムの概要

最適鏡吹付け厚決定システムは、切羽写真の画像解析とコンピュータジャンボ穿孔データから蓄積されたデジタルデータと鏡吹付け厚さ、切羽における剥落情報に基づき、肌落ち防止に必要な鏡吹付け厚をリアルタイムに提示するシステムである。鏡吹付け厚の決定手法には、多変量解析の一種であるロジスティック回帰を利用した。ロジスティック回帰とは、複数の変数（パラメータ）から、ある目的とした事象が発生するか、発生しないかを分類する機械学習手法である。

今回は、岩盤の強度や風化、割れ目といった切羽定量評価値から、肌落ちの発生有無の二値を判断する際の統計的手法として利用した。この判断を的確に行うことができれば、切羽の地質状況から肌落ちを発生させないために必要な鏡吹付け厚を決定することができる。

#### 3. 2 ロジスティック回帰による剥落発生率判定

以下に、ロジスティック回帰のパラメータとして利用する各地山定量評価値（「圧縮強度」、「風化変質」、「割れ目間隔」、「割れ目交差密度」）を述べる。

##### 3. 2. 1 コンピュータジャンボ穿孔データによる圧縮強度の評価

岩盤の硬軟の評価には、発破孔やロックボルトの穿孔作業時に取得するコンピュータジャンボの穿孔データを利用した。各サイクルで取得される穿孔データは、自動的に統合され、破壊エネルギー係数と呼ばれる地山の硬軟を評価する指標に変換される。また、これらのデータをクリギングという地球統計学的処理により、3次元的に空間補完されるため、任意の位置の切羽の断面図を取得することができる。本システムでは、切羽を 1 m メッシュに区切り、その領域における破壊エネルギー係数の平均値をパラメータとして利用した（図-3）。

### 3. 2. 2 切羽写真の画像解析による風化評価

風化変質程度の評価には、切羽観察時に撮影される切羽写真の画素値から風化度を定量評価するシステムを利用した(図-4)。岩盤が風化すると粘土鉱物の生成や金属イオンの溶脱および酸化物の生成などによって色調が変化するため、色調から風化程度を評価することができる。強度評価と同様に、切羽を1mメッシュに区切り、その領域における風化程度をパラメータとして利用した。

### 3. 2. 3 切羽写真の画像解析による割れ目間隔および割れ目交差密度の評価

割れ目間隔の評価には、切羽観察時に撮影される切羽写真から割れ目間隔を定量評価するシステムを利用した。割れ目では岩盤が分離しやすいため、掘削直後の切羽では割れ目が凹凸をもった筋として現れやすい。凹部と凸部では照明の反射に差が生じるため、割れ目は切羽写真では輝度の差の大きい部分として発現しやすい。そこで、割れ目を画像上の輝度の変化箇所として抽出し、卓越方向に直行する方向に交差する割れ目の数をカウントすることで、割れ目間隔を評価した(図-5)。

割れ目交差密度の評価には、割れ目間隔と同様に、切羽写真から割れ目交差密度を評価するシステムを利用した。割れ目交差密度は、図-6のように、切羽画像から割れ目を抽出した後、任意のメッシュに区分し、メッシュ内の割れ目がどのように交差しているかを点数化により評価した。

### 3. 2. 4 WEB カメラによる切羽剥落の記録

肌落ちが発生する危険性を示す指標として、発破孔を穿孔する際に発生する剥落の発生有無を記録するため、穿孔機械(ジャンボ)にWEBカメラを搭載し、剥落の有無と剥落が発生した箇所を記録した(図-7)。記録した剥落を肌落ちの危険性と関連付けるため、穿孔孔周辺のコンクリートだけが剥落したような場合を除外し、コンクリートとともに地山が剥落するようなデータを剥落として記録した。

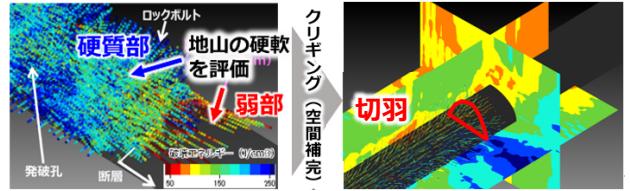


図-3 穿孔データによる地山強度の評価

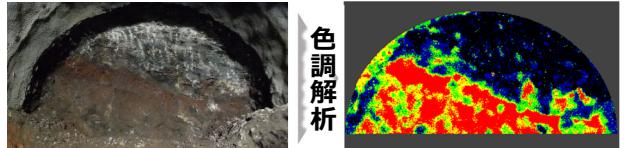


図-4 色調解析による風化度評価

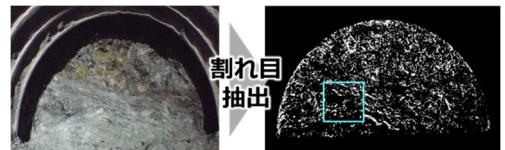


図-5 割れ目間隔の評価

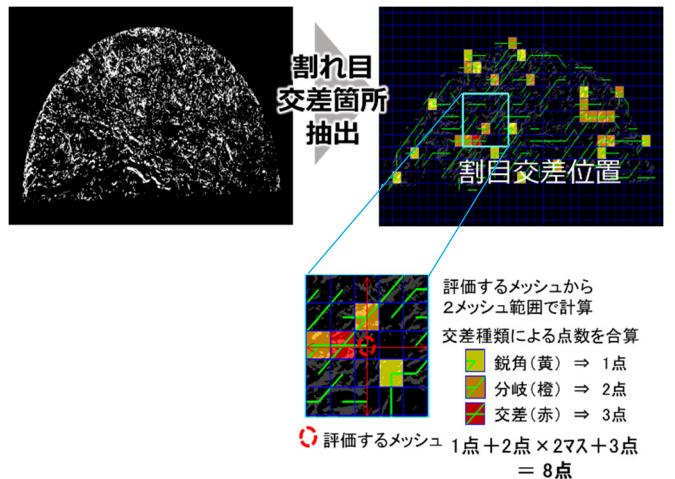


図-6 割れ目交差箇所の抽出、算出方法



図-7 切羽監視カメラによる剥落の確認

#### 4 最適鏡吹付け厚決定システムと鏡吹付け厚管理システムを活用した鏡吹付け管理システム

当システムのフローを図-8に示す。当システムでは、最初に、コンピュータジャンボから自動取得した穿孔データとスマートフォンで撮影した切羽写真を坑内Wi-Fiを利用して坑外の詰所PCに転送される。次に詰所PCにて地質状況の定量評価を行った後、1m×1mのメッシュに地質の定量評価結果を割り付け、メッシュ毎にロジスティック回帰に基づいた鏡吹付け厚を出力する。

評価結果は、坑内Wi-Fiを利用して切羽のスマートフォンに転送し、図-9に示すようなメッシュ毎に最適吹付け厚を示した画像で確認することができる。

なお、本システムによる解析結果は、約1分程度で出力されるため、吹付け前に出力結果を確認することができる。

ここで、出力された最適鏡吹付け厚は、鏡吹付け厚管理システムの制御PC上に表示されるため、実際の鏡吹付け厚の施工状況と比較でき、鏡吹付け厚を過不足なく施工することが可能である。

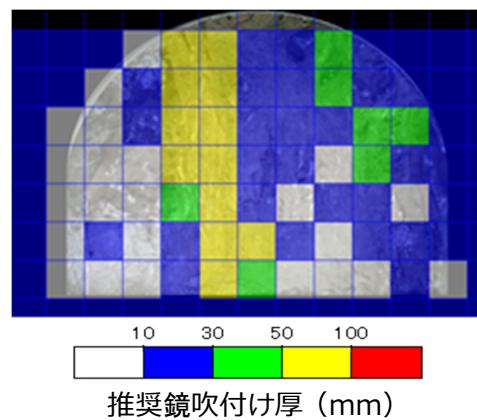


図-9 スマートフォンを利用した最適鏡吹付け厚決定システム

#### 5まとめ

従来、鏡吹付け厚の決定や管理は、個人の経験や技量に頼って行われていたが、今回開発したシステムを活用することで、切羽の定量評価に基づいた鏡吹付け厚を提示し、切羽全面の鏡吹付け厚を管理することができるようになった。

本技術は、切羽の肌落ち災害の防止に大きく貢献できると考えており、実現場への展開によって、切羽の安全性向上に寄与できると考えている。今後、当システムの運用を通じて取得したデータに基づき、最適鏡吹付け厚を決定するロジスティックス回帰のモデルの更新を継続し、さらなる安全性向上に貢献をしたい。

#### 最適鏡吹付け厚決定システム



#### 鏡吹付け厚管理システム



図-8 最適鏡吹付け厚決定システムと鏡吹付け厚管理システムを活用した鏡吹付け管理システムのフロー

# 橋梁リニューアル統合管理システム「OBRIS」の開発

株式会社大林組 土木本部 大規模更新プロジェクト室 ○日暮 一正  
橋梁技術部 仲田 宇史 釘宮 晃一 三田村 健二

## 1. はじめに

国内の主要な高速道路は供用開始から 50 年以上を経た現在、老朽化とともに長い期間厳しい使用環境に暴露されたことで床版などに変状が顕在化してきており、床版変状部の部分的な補修の繰り返しのみでは十分に対応できないため、抜本的な大規模更新が必要となっている(写真-1)。限られた工期の中でいかに交通量を確保しながら設計・施工を進めていくかが重要となる。

今回、床版取替工事における全体工程の短縮および品質向上に向けて、調査・設計、床版製作、施工における各フェーズの統合管理システムを開発した。本稿ではその開発システムの概要、及び、各現場にて適用した内容について報告する。



写真-1 床版取替工事の事例

## 2. 橋梁リニューアル統合管理システム概要

開発した橋梁リニューアル統合管理システム OBRIS(Obayashi Bridge Renewal Integrated System)は、床版取替工事におけるプロセスを「調査・設計(-Design)」、「床版製作(-Production)」、「施工(-Construction)」の3つのシステムにカテゴライズした(表-1)。また、OBRIS の3つのシステムは、設計や施工に関するデジタルデータおよび3次元モデルを次のシステムに引き継いで一気通貫で利用することを可能としたことで、データの生成過程において、

橋梁リニューアル統合管理システムOBRIS(Obayashi Bridge Renewal Integrated System)	
OBRIS-D(Design) 調査・設計統合システム	<ul style="list-style-type: none"><li>3D測量から得られたデータを自動でCIM化</li><li>設計時に反映すべき情報を入力して一元管理</li><li>自動割付機能により設計を最適化</li></ul>
OBRIS-P(Production) 製作統合システム	<ul style="list-style-type: none"><li>Pca部材製作時の品質記録を一元管理</li><li>製作監視機能と品質管理データにより品質低下を防止</li><li>部材の製作出来形を反映した出来形シミュレーションにより施工時の不具合発生を防止</li></ul>
OBRIS-C(Construction) 施工統合システム	<ul style="list-style-type: none"><li>「設置座標データ一覧」を活用して設置作業を効率化</li><li>設置誤差を反映した修正シミュレーションを行い、設置座標データを日々修正して、翌日以降の施工に活用する</li><li>出来形や現場品質管理データを確認、記録する</li></ul>

表-1 OBRIS 全体概要

重複作業をなくして生産性を向上させるとともに、設計・施工における不具合の未然防止・品質の向上に寄与することを目的としたシステム体系である。

### 2. 1 調査・設計システム (OBRIS-D)



図-1 撮影に使用した UAV

既設橋梁の現況を 3 次元レーザースキャナや UAV(図-1)にて点群データを取得し、既設鋼桁の 3 次元モデルを精緻に

作成する(図-2)。また床版および鋼桁の線形データをもとに、新設床版、壁高欄、既設床版割付けを自動処理可能な「床版割付け BIM/CIM システム」を用いて床版の設計を行う。従来、割付け図の作成は、CAD オペレータが手作業で主構造との取り合いを確認しながら、形状パターン数が最小となる割付けとなる様、トライアンドエラーを繰り返して作成するために多大な時間を要していた。この従来作業を今回の開発システムにより自動化した。

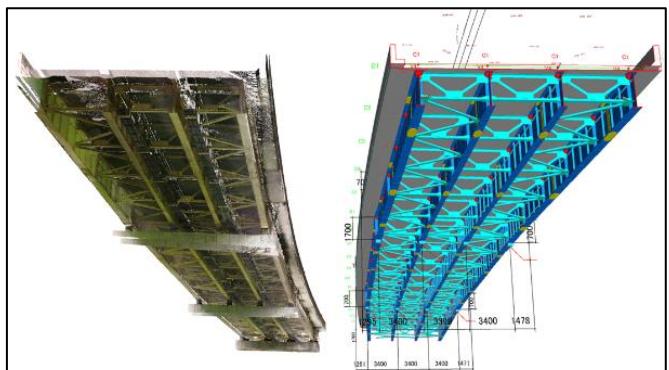


図-2 点群データから CIM モデル作成

## 2. 2 床版製作システム (OBRIS-P)

決定した割付けプランの設計データをもとに床版製作用の形状寸法を自動計算し、製作図(3次元モデル)を作成する。遠隔で床版製作の作業状況を見ながら品質記録データを確認するなど製作工程を監視・指導することで所定の品質を確保する(図-3)。



図-3 製作監視機能



写真-2 製作した床版の計測状況

製作済みのプレキャスト床版を3次元レーザースキャナで計測し(写真-2), 解析ソフトウェアで設計時の3次元モデルと比較しヒートマップ表示させて合否判定を行う(図-4)。床版出来形の誤差をパソコン上で事前にシミュレーションすることで、現地設置時の誤差を早期に確認し対策することを可能とした。

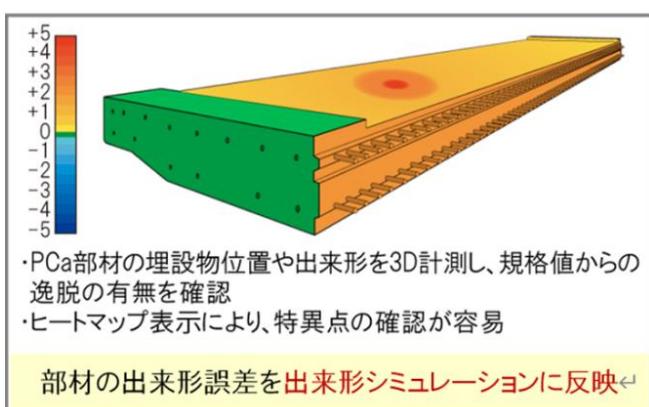


図-4 3次元モデルによるヒートマップ表示

## 2. 3 施工システム (OBRIS-C)

現地設置時のシミュレーション結果の目標座標データと施工済床版の出来形座標データを重ね合わせ、バーチャルとリアルのデータを日々照合しながら施工管理に反映させることを可能とした(図-5)。また、日々の進捗をBIM/CIMクラウドに属性情報として反映させることで、進捗確認と翌日以降の作業打合せをインターネット上で実施することが容易となり、手戻りのない確実な工程の進捗管理に貢献できる。

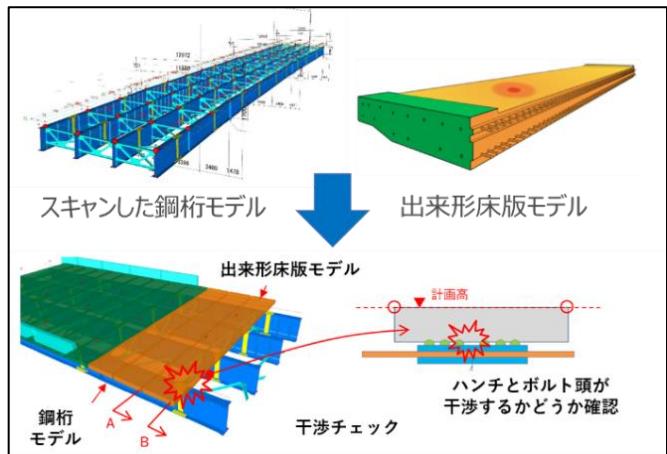


図-5 3次元モデルを用いた干渉チェック

## 3. 現場への適用

本システムは、施工中の床版取替工事の現場で検証を行った。なお、検証にあたっては、工期の関係から、今回は現在施工中の現場へシステムごとに適用を行った内容について報告する。

### 3. 1 調査・設計統合システム (OBRIS-D)

#### a) UAVを用いた現況測量

既設橋の計測においては、従来であれば、橋面上部では交通規制後によるスキャナでの計測、橋面下部では足場を設置した後、鋼製のスケールで各所を確認、計測するのが一般的であるが、当該システムを用いた方法によると、足場を建設する前にUAVを用いた計測が可能となり、交通を止めることなく橋面上部・下部の正確な計測が可能となった(図-6)。

図-7は、既設橋1径間約65m程度の橋梁下面、上下線往復合計約130mを1日8時間以内にてスキャナを用いて計測した図である。計測当日は橋梁上面の交通規制を行うことなく実施できた。実際に計測したデータと各所比較し、±5mm以内の精度であった。

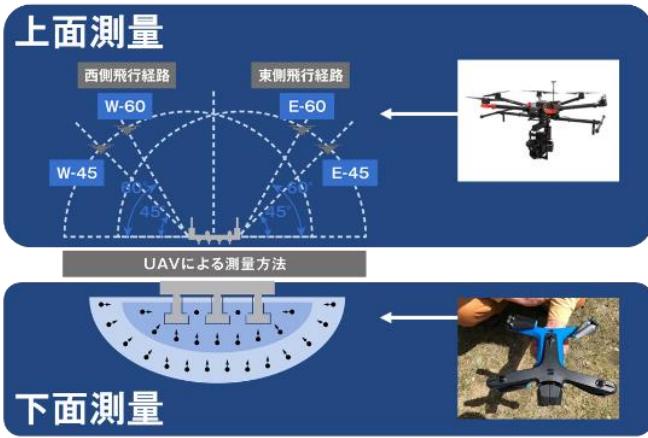


図-6 橋梁上下面を UAV にて計測



図-7 既設橋梁計測点群データ

点群データ取得後、CIM モデル作成と同時に設計部門にデータ供与可能となることから、施工直前での主桁寸法(特に上フランジの幅と高さ)が正確に伝わり、詳細設計の二度手間を防ぐことができた。さらに、隅々まで点群データを取得することで、付設物に関しての情報を入手出来ることから、既設床版切断時に避けてカットラインを引くことが出来るなどのメリットも享受できた。また、現場と設計部門間においては専用のクラウドサービスにてデータ共有が可能なため、常に最新のデータに関する情報を得ることができた。

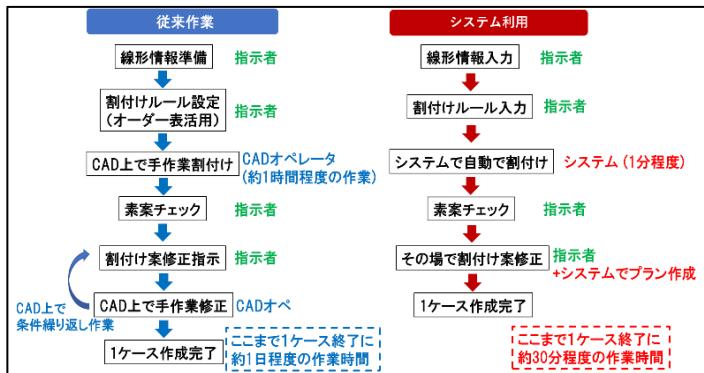


図-8 床版割付け業務フロー

## (b) 床版割付け BIM/CIM システム

当該システムを用いて、床版割付けにおける従来作業との比較を行ったところ、1 ケース当たりに要する工数が、約 1 日（8 時間）から 30 分程度となった。また、壁高欄についても自動で配置が可能であることから、壁高欄自動配置システムを用いることで、1 ケース約 16 時間の工数がわずか 1 時間で作成ができた（図-8, 9）。さらに、断面部分におけるハンチ厚の自動設計機能を用いることで、床版 1 枚あたりに 1 時間程度要していた設計、CAD 製作作業が 5 分程度で終えた。本システムを業務に適用することで、設計工数が大幅に短縮されたことを確認できた。

### 3. 2 床版製作統合システム (OBRIS-P)

床版製作工場の連携については、プレキャスト工場における計測手法により、全ての設計、製作工程でデジタル化できないケースも確認された。特にスキャナの精度や撮影モード、撮影位置や構台の高さによってはデータの欠損を伴うため、様々なケースを考慮して撮影を行い、3 次元点群データ化を行った。

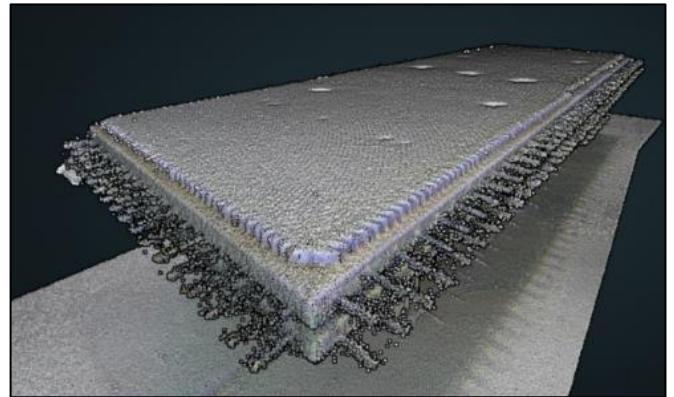


図-10 新設床版出来形計測状況

図-10 は、構台高さ 1.2m、市販レーザースキャナを用いて High Mode で新設床版を 6 箇所から計測して得られた点群データ図である。鋼尺との実寸精度も土

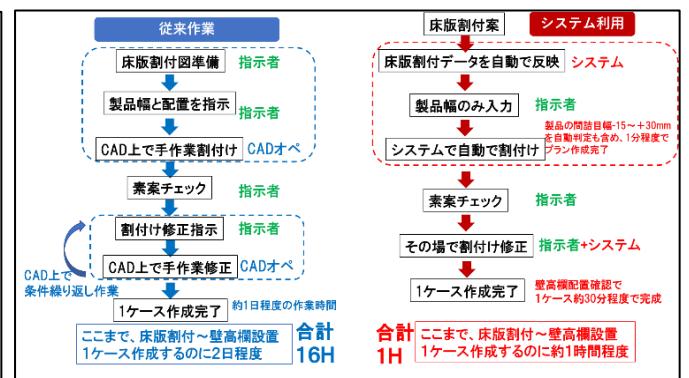


図-9 壁高欄割付け業務フロー

2mm以内であり、正確な3次元形状を取得することができた。

### 3. 3 施工統合システム (OBRIS-C)

施工においては、工場で製作された床版の出来形計測データを現場へクラウドを通じて施工前に情報共有出来たことで、設計とは若干異なる床版の出来形誤差を考慮した設置方法について、現場にて事前に確認、検討することが可能となった。これにより、床版設置における四隅の目標設置座標を検討することが可能となり、現場の設置に掛かるタイムロスや施工箇所全体の上質な線形確保がクラウド上で可能となった(図-11, 12)。



図-11 クラウド上での一覧表示

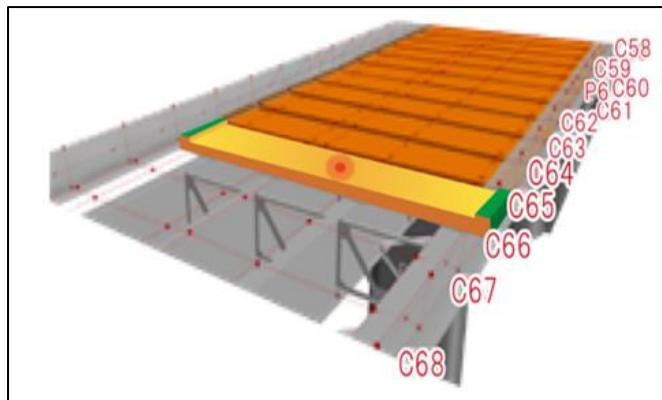


図-12 床版設置位置確認

一方、床版設置に要する計画値と日々のデータ入力との連携により作業効率が向上したが、現場にて日々発生するデータのメンテナンス要員確保、システム利用に関する教育の必要性など、今回開発したシステムの運用に向けた課題も確認できた。

### 4. おわりに

今回開発したシステムは、現地調査としての点群データ取得からBIM/CIMデータ作成、既設桁と新設床版の調整、床版製作、施工時での利用、測量やメンテナンスデータ保管など、すべての工程においてデジタルデータと3次元モデルの活用が可能なフローを目指した(図-13)。

BIM/CIMデータが設計時ののみの活用に留まらず、床版製作、出来形管理、施工シミュレーションなど様々なフェーズに連携できることは、今後のDXを中心とした業務改善活動において重要となる。一方で開発システムが現場にとって属人化しないように、誰にでも使いやすいインターフェースとするなどの工夫も必要である。

これまでの2次元図面を中心とした熟練技術者のノウハウによる設計・施工の作業フローからBIM/CIMを活用したデジタルデータでDXを実現し、高速道路の大規模更新事業の生産性・品質向上に取り組んでいく所存である。



図-13 OBRIS を用いた業務フロー遷移図

# 法面工を対象とした、モバイル端末による高精度3D地上写真測量の試行

株式会社興和 機械開発室 ○太刀川 翼  
技術開発室 渡邊 健太

## 1 概要

Lidarによる自己位置マッピング機能（以降、Lidar S L A M）を搭載したモバイル端末に着目。写真測量用アプリとの組み合わせにより、mm単位の高精度な測量が可能なことを現場検証によって実証した。さらに、T S測量が必要となる標準点の設置を省略した状態でも、十分な精度を確保できることを確認した。以上の実証結果から、本試行によるI C T法面工現場における安全性及び生産性の向上効果について述べる。

## 2 開発の背景

I C T法面工においては、3次元での起工測量、出来形管理の推進により生産性の向上を図っているが、課題も残っている。例えば、斜面を安全かつ効率的に計測する手法としてU A V空中写真測量が用いられることが多いが、出来形管理項目の一部（法枠の幅、高さ）は要求精度が厳しく、U A V空中写真測量では対応が難しい場合がある。I C T法枠工で要求される出来形計測の精度（法枠の幅、高さ）は、2点間距離の測定誤差が±10mm以内である（図一）。

実際の施工では、要求精度を満足できる計測手法として地上レーザースキャナ（以降、T L S）を用いて測量を行っている。T L Sは計測精度や点群密度の面で他の手法よりも優れている一方で、法面工事では利用しづらい面も存在する。T L Sで凹凸のある対象を計測するには複数地点からの計測が必要であり、機器の再設置に手間がかかる。

測定項目		規格値	要求精度
法長 $\ell$	$\ell < 10m$	-100mm	30mm以下
	$\ell \geq 10m$	-200mm	
幅 w		-30mm	10mm以下
高さ h		-30mm	
枠中心間隔 a		±100mm	30mm以下
延長 L		-200mm	



「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」  
第9編 法面工編 参考資料-2 法枠工における出来形算出ガイド より引用

図-1 法枠工の出来形管理における要求精度

特に自然斜面での工事では、起伏の激しい地形や法枠を計測するために、足場の悪い中での機器の運搬や設置が必要になるケースも多い。そのような場合、大型で重量のある機器を斜面上で運搬・設置することになり、作業効率の低下に加えて、転倒などの安全性の懸念も平地よりも大きくなる。

そのような中、斜面上でも取り扱いが容易なモバイル端末に着目した。昨今、モバイル端末のLidarセンサーを3次元形状の取得に用いた計測技術が、小規模土工などの工種で要領化されてきた。しかし、この手法ではmm単位の精度が確保できないことが事前の現場検証で判明した。

そこで、Lidarセンサーを3次元形状の取得に用いることをやめ、Lidar S L A Mによる写真測量の精度向上へ利用する手法を考案した。Lidar S L A Mによって、撮影地点の相対的な位置情報、及び撮影角度を画像に付与することが可能

であり、正確な位置情報による写真測量の精度の向上が期待できる。

### 3 目的

斜面上でも取扱いが容易なモバイル端末を使用しながら、mm単位の高精度な計測が可能な計測手法を開発する。これにより、I C T 法面工における 3 次元計測作業の生産性及び安全性の向上を実現することを目的としている。

### 4 現場検証

#### 4. 1 使用機器

本試行に使用した機器を表－1に示す。

表－1 使用機器一覧

用途	使用機器
カメラ	iPhone13pro (Apple 社)
自動撮影アプリ	Pix4Dcatch (Pix4D 社)
三次元化処理ソフト	Pix4Dmapper (Pix4D 社)
スケール補正	標尺 (1m)

昨今、モバイル端末にG N S S アンテナを装着し撮影画像に高精度な位置情報を持たせる技術も普及してきている。しかし、本手法は斜面上での使用を想定しており、マルチパス等の影響により高精度な位置情報の取得は困難と思われた。そのため、本試行では撮影画像への位置情報（緯度、経度）の付与は行っていない。

「Pix4Dcatch」は写真測量用の画像の自動撮影が可能なアプリケーションである。計測対象にカメラをかざした状態でカメラを移動させると、設定したラップ率を満たすように撮影を行う機能を有している。

#### 4. 2 計測手法

計測状況を図－2に示す。



図－2 モバイル端末を用いた地上写真測量の作業状況

図の赤枠で囲われた法枠が計測対象である。計測範囲内に長さが既知である標尺を設置し、Pix4Dcatch を起動したモバイル端末によって法枠及び標尺を撮影した。

撮影した画像の 3 次元化（点群生成）には、Pix4Dmapper を用いた。その際、Pix4Dmapper のスケールコンストレイト機能と設置した標尺を用いて、取得した点群の精度向上を図っている。スケールコンストレイト機能とは、点群上で任意の 2 点を指定し、その間の正しい距離を与えることで、点群モデルの補正を行う機能である。この補正によって、本来は TS 測量により設置する必要がある標定点の設置を省略した状態でも、高い計測精度を確保している。

以上の操作を 2 現場 計 4 地点で実施し、計測結果の精度、計測作業の生産性、安全性の 3 点についての検証を実施した。

### 5 検証結果

#### 5. 1 精度検証結果

得られた点群の例を図－3 に、精度検証結果を表－2 に示す。



図－3 生成された点群の例

表－2 精度検証結果

計測地点	測定項目	実測値 [mm]	推定値 [mm]	較差 [mm]
1	a	1940	1936	4
	w	306	299	7
	h	300	294	6
2	a	2048	2044	4
	w	306	311	-5
	h	324	323	1
3	a	2008	2005	3
	w	304	298	6
	h	390	390	0
4	a	1961	1967	6
	w	300	309	9
	h	410	406	-4

測定項目 a:枠中心間隔、w:幅、h:高さ

表－2より、出来形管理項目の全てで要求精度を満足した。したがって、モバイル端末での地上写真測量（以降、本試行手法）で得られた成果を用いて、ICT法面工の出来形管理を行うことは可能であると考えられる。

## 5. 2 生産性検証結果

従来のテープ測量では、テープの設置と、黒板への書き込みなどで、計測箇所1箇所あたり20分程度を必要としていた。また、手元と撮影者の2人で作業するケースが多い。

また、従来のICT手法（TLS）では、まず計測に先立って標定点の設置を行う必要があり、その後に3次元計測を実施する。計測時には機器の設置と器械点算出に約10分、斜面のスキャンに20分程かかっていた。そして、法枠を計測する場合には、複数箇所からの計測が必要であり、上記の工程を複数回繰り返すことが必要となる。そのため、現地条件によりスキャン回数を増やさざるを得ない場合、計測時間は長くなりがちであった。

一方、本試行手法は計測が1人で可能なことに加えて、事前の標定点の設置を必要としない。さらに、計測箇所1箇所あたりの計測時間は、3分程度である。内訳は、標尺の設置に約2分、測量用画像の撮影に20～30秒、合計約3分である。

上記を踏まえて、以下のようなケースで計測を行うことを想定し、手法ごとの所要時間の目安を表－3にまとめた。想定する現場は、法枠総延長500m、出来形計測箇所5箇所とし、枠中心間隔、法枠の幅、高さを計測するものとした。計測を行うにあたり、テープ測量と本試行手法は、斜面上を移動しながら5箇所で計測を行うものとし、TLSは斜面外の3地点からの計測を行うものとした。

表－3 手法ごとの所要時間の目安

No.	現地作業工程	所要時間 [分]		
		従来手法 (テープ測量)	従来ICT (TLS)	モバイル端末での 地上写真測量
		0 4分 * 5 = 20 10分 * 5 = 100	40分 * 1 = 40 15分 * 3 = 45 20分 * 3 = 60	2分 * 5 = 10 4分 * 5 = 20 3分 * 5 = 15
1	標定点/標尺等の設置			
2	移動および機器の据替			
3	計測作業			
	計	120	145	45

表－3より、本試行手法は、他の手法と比較して、現地計測時間の短縮を見込むことができ、3次元計測の生産性向上が期待できる。また、計測作業の短縮は、単純な省力化だけでなく次工程の待ち時間を低減するといった面からも生産性向上に資すると考えられる。

他方、地上写真測量の実施には、画像からの点群生成に内業が発生する点に留意が必要である。

### 5. 3 安全性検証結果

法面工事の現場では、その性質上、斜面上や狭い作業構台、階段等で移動あるいは作業しなければならないことが多い。その際、転倒防止などの安全性の観点から、運搬する器具や斜面上での作業は、可能な限り少ない方が望ましい。

本試行手法で必要となる器具は、標尺とモバイル端末1台のみと少ない。斜面上の作業についても、1箇所の計測あたり3分程度と短い上、1人での作業も可能である。

一方、従来手法（テープ測量）においては、テープ、スケール、コンクリート釘、ハンマーが主な器具である。器具の量は本試行手法と大差ないが、2人作業の場合多く作業量はやや多いといえる。

また従来ICT（TLS）は、斜面全体をスキャン可能な平地が存在する場合、斜面上での作業は不要であり、上記の2手法よりも安全である。しかし、斜面の起伏が激しい、法面途中に小段が存在する、または機械を設置できる平地が無いなど、やむを得ずTLSを斜面上へ運搬する必要がある場合（図-4）、重い機械と三脚を運搬・設置することになり、転倒のリスクは大きくなる。



図-4 斜面上への設置例

以上から、TLSの使用に不向きな現場においては、本試行手法が最も少ない器具と作業量で計測が可能となるため、従来手法よりも安全性の向上が見

込めると考えられる。全てのケースで最も安全な手法とは言えないが、現場条件に合わせた手法の1つとして、選択肢を増やすことできた意義は大きいと考える。

### 6 課題と対策

まず、本試行手法は、計測可能な範囲が狭いため、斜面全体を計測することができないという課題がある。そこで、TLSやUAV測量と組み合わせた活用を想定している。TLSやUAVは、広範囲を効率的に計測可能だが、遮蔽物等の影響を受けやすく満遍なく計測を行うのが難しい。無理に計測しようとすれば、作業効率の低下や安全性の劣る運用を招く恐れがある。一方で本試行手法は、持ち運びやすい機器を用いた高精度な計測が可能なため、UAVやTLSで対応が難しい箇所を補完する手法として活用が期待できる。

2つ目に、本試行手法では、現場での計測時間が短い代わりに、画像から点群を生成するための内業が増加することが課題となる。昨今、アップロードした画像から自動で点群生成を行うクラウドサービスが提供され始めている。今後は、これらのサービスを活用することで、内業の軽減を図っていきたいと考えている。

### 7 まとめ

Lidar S L A M搭載のモバイル端末と写真測量用アプリを活用することで、法面工の要求精度を満たす高精度な計測手法が開発できた。本手法は局所的に高精度な計測を行う補完的な計測手法として、既存の手法と組み合わせることで、ICT法面工の生産性及び安全性の向上が期待できる技術である。そして、本手法は法面工以外の工種への展開も可能であると考えられる。そこで本報告がICT法面工に限らず、建設業においてICT活用の推進に従事する方々への一助となれば幸いである。

# 土質定数推定システム「サウンディングAI」

五洋建設株式会社 技術研究所 担当部長 秋本 哲平

## 1 はじめに

地盤調査として一般的に実施されるボーリングを伴う調査方法は、コストや時間がかかるため、ボーリングを伴わないサウンディング調査で代用されることがある。サウンディング調査は、経験に基づく推定式を利用して土質定数を推定するものの、調査地点に適合した推定式を選定する作業や推定式中のパラメータを微調整する必要があり、技術者の主観が入りやすく、技術者の技量によって推定値が異なるといった課題がある。

このような課題を解決するため、過去の調査で蓄積したサウンディングデータと土質定数の相関を学習した人工知能（AI）を用いて土質定数を推定する「サウンディングAI」を開発した。

## 2 システムの概要

土質定数を推定するモデルは、機械学習によって構築している。機械学習の手法は、決定木の一種であるランダムフォレスト法、サポートベクターマシンおよびディープニューラルネットワーク（DNN）の3種類の手法を比較し、最も精度が高かったDNNを採用している<sup>1)</sup>。図-1にDNNの概念を示す。入力値（説明変数）は、サウンディングによって取得した計測データであり、出力値（目的変数）は、地盤の強度情報として必要であるN値と土質分類の指標となる細粒分占有率 $F_c$ である。DNNは、入力層と出力層の間に複数の中間層を有しており、高度な情報処理が可能となることから、精度の高い推定が期待できる。

土質定数の推定精度は、推定値と実測値の平均誤差を定量的に評価する二乗平均平方根誤差（RMSE）で検証している。サウンディングによって取得したデータを元に作成した教師データのうち、75%を学習データとし、残りの25%をテストデータとすることで、一定のデータに過度に適合する過学習を防止している。

対象とするサウンディングは、施工時の削孔作業と同時に計測できるロータリー式サウンディングと静的な三成分コーン貫入試験の2種類である。

## 3 ロータリー式サウンディングでの適用

ロータリー式サウンディング（RST）は、薬液注入等の削孔作業を伴う工事において、削孔作業と同時にデータが取得できる調査方法であるため、事前調査にかかる時間やコストを大幅に削減することが可能である。通常の削孔機械に変位量センサーや圧力センサーを取り付け、貫入時の圧力や送水圧を計測している（図-2）。

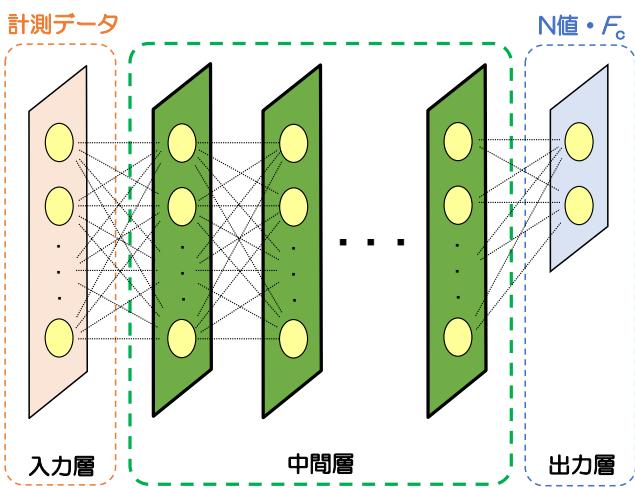


図-1 DNNモデルの概念

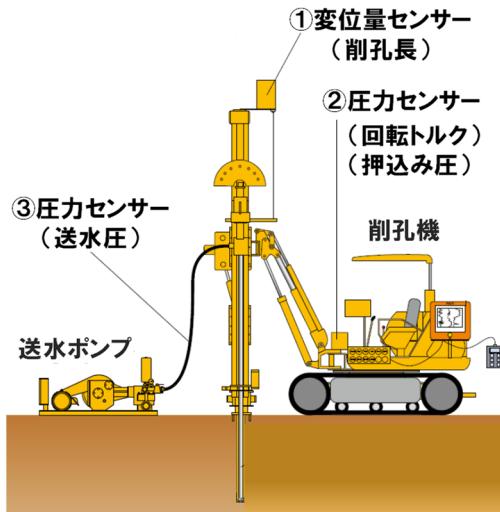


図-2 RST の概念図

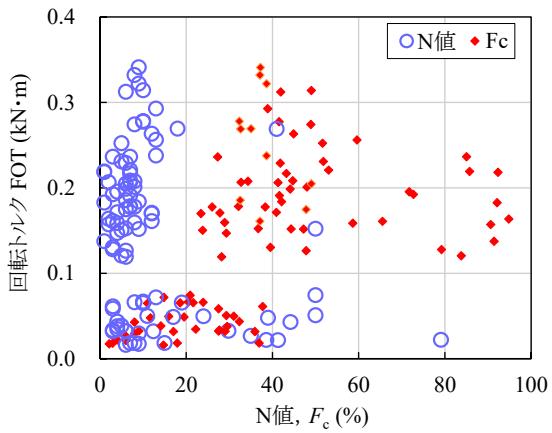


図-3 回転トルクと土質定数の関係

### 3. 1 使用データ

RST の使用データは、2011 年～2017 年の間に、東京国際空港で実施した 5 工区の地盤改良工事で取得したデータである。RST による計測データは、送水圧 (WP)、回転トルク (FOT)、削孔速度 (SPD)、削孔荷重 (LT) の深度 5mm 每の連続データである。送水圧は、削孔時の掘削クズを地上に排出するための水を送る圧力であり、粘性土の掘削時に大きい値を示す傾向がある。また、削孔速度は、地盤が軟らかい粘性土で大きくなる傾向がある。一方、回転トルクは削孔ロッドを回転させる力、削孔荷重は押し込み圧力と時間を掛け合わせた値であり、砂質や礫質の硬い地盤で大きい値を示す傾向にある。

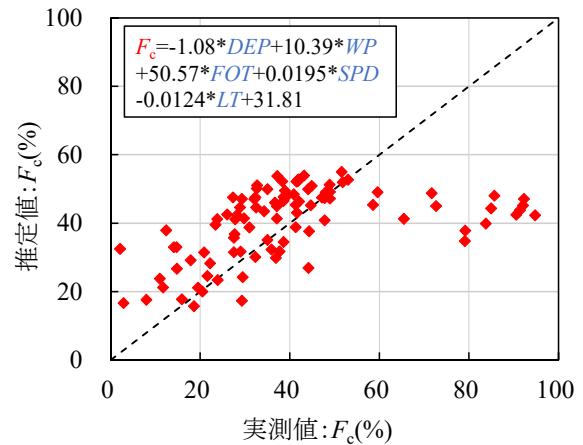


図-4 重回帰分析での推定結果

計測データの参考として、回転トルク (FOT) と N 値、 $F_c$  との関係を図-3 に示す。N 値および  $F_c$  が大きくなるほど回転トルクが大きくなる傾向を示しているものの、回転トルクと N 値および  $F_c$  との相関は低くなっている。その他のデータも同様であったことから、個々のデータのみでは土質定数の推定は困難である。

### 3. 2 精度検証

従来から使用されている推定手法の 1 つである重回帰分析を用いて土質定数の推定を行った。 $F_c$  の推定結果を図-4 に示す。 $F_c=50\%$ 程度までは概ね良好な傾向を示しているものの、50%以上においては、推定値が一定になった。この傾向は個々のデータと同様であり、線形の重回帰分析では、推定精度が低いことがわかる。

上記より、推定精度を向上させる方法として、非線形を考慮できる AI モデルを採用した。表-1 に AI モデルで使用した説明変数を示す。説明変数に計測データの分散を加えることで、バラツキの特徴を考慮している。図-5 に学習データとテストデータに対する実測値と AI による推定値の比較を示す。非線形性を考慮できる DNN モデルを適用することで、N 値、 $F_c$  ともに高い精度で推定できることが確認できた。

表-1 RST の説明変数

説明変数 (入力値)	深度 (DEP)	中央値
	送水圧 (WP)	平均・分散
	回転トルク (FOT)	平均・分散
	削孔速度 (SPD)	平均・分散
	削孔荷重 (LT)	平均・分散

表-2 CPT の説明変数

説明変数 (入力値)	CPTデータ	貫入抵抗
		周面摩擦
		間隙水圧
	制御データ	貫入速度
		貫入深度
		貫入角度
	形状データ	コーン外径
	位置データ	平面距離

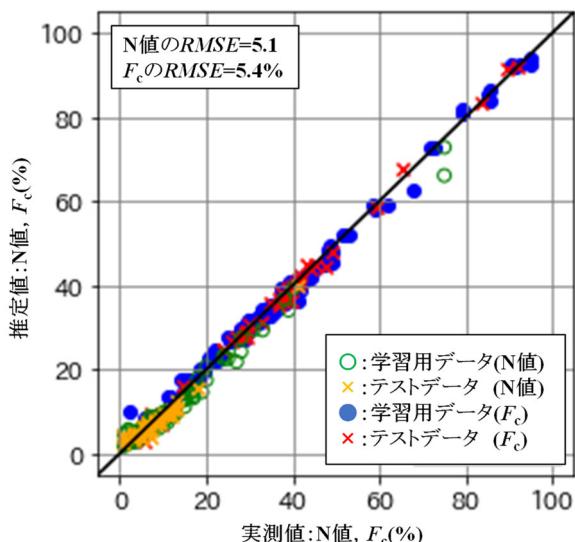


図-5 RST の推定結果

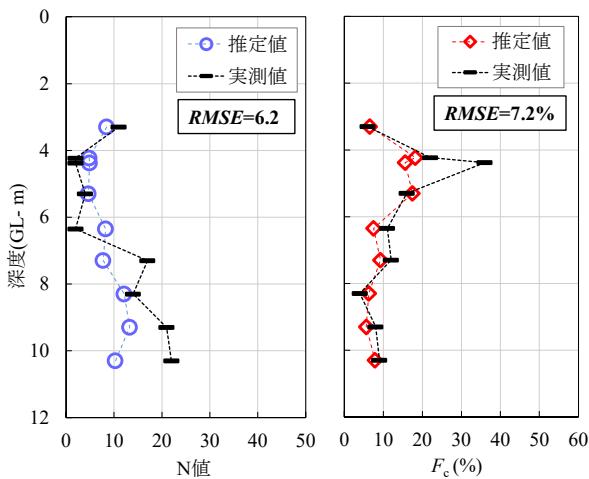


図-6 RST での推定深度分布（新規地点）

### 3. 3 新規地点での適用性

本システムを使用する場合、学習データとは全く異なる新規地点で適用することが考えられる。そのため、東京国際空港とは全く異なる別の地点で実施した2本のRSTのデータを用いて推定精度の検証を行った。

東京国際空港のデータのみで構築したAIモデルを用いて、新規地点の2本のRSTデータで土

質定数の推定を実施したところ、 $F_c$  の RMSE は 9.8% であり、ある程度の精度が確保されたものの、N 値の RMSE は 50 以上となり、非常に精度が低いことがわかった。そこで、新規地点で取得した1本のRSTデータを学習データに加えてAIモデルを構築し、残りの1本のデータで精度検証を行った。図-6に推定値の深度分布を示す。N 値の RMSE は 6.2、 $F_c$  の RMSE は 7.2% となり、推定精度が大幅に向上した。説明変数であるRSTデータと目的変数であるN 値および $F_c$  の関係には地点特有の特徴があり、その地域特性を学習することで精度が向上するものと考えられる。

### 4 コーン貫入試験での適用

本技術は、貫入抵抗、周面摩擦、間隙水圧の3成分を静的に計測できる電気式コーン貫入試験(CPT)も対象としている<sup>2)</sup>。

#### 4. 1 使用データ

使用データは、3 地点 (A・B・C) で実施したボーリング 12 本とコーン貫入試験 28 本の結果であり、N 値は 648 データ、 $F_c$  は 441 データである。なお、地点 A のデータは、海外の港湾工事における事前調査で取得したデータであり、地点 B と地点 C のデータは、AI モデルを構築するため茨城県内で取得したデータである。

使用した説明変数を表-2に示す。従来から使用されている貫入抵抗、周面摩擦、間隙水圧のデータ (CPT データ) に、貫入速度、貫入深度、貫

入角度といった貫入時の制御データやコーンの外径および位置データを加えることで、推定精度向上を目指した。

#### 4. 2 精度検証

全てのデータからランダムに抽出した 75% のデータを学習データとし残りの 25% のデータで土質定数の推定精度を検証した。検証結果を図-7 に示す。N 値の RMSE は 0.94、 $F_c$  の RMSE は 1.5% と非常に小さくなっており、推定精度の高いモデルであることが確認できた。

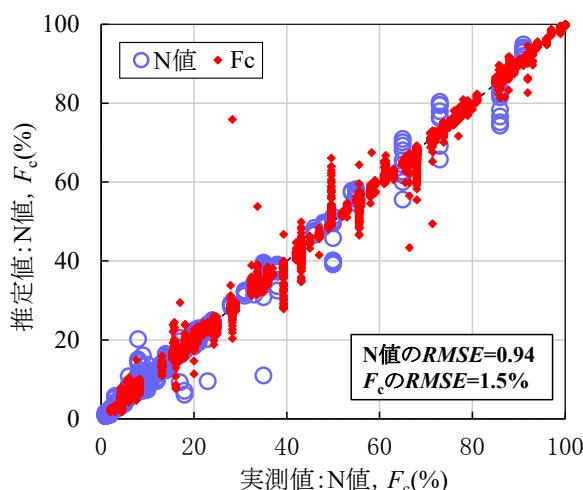


図-7 CPT の推定結果

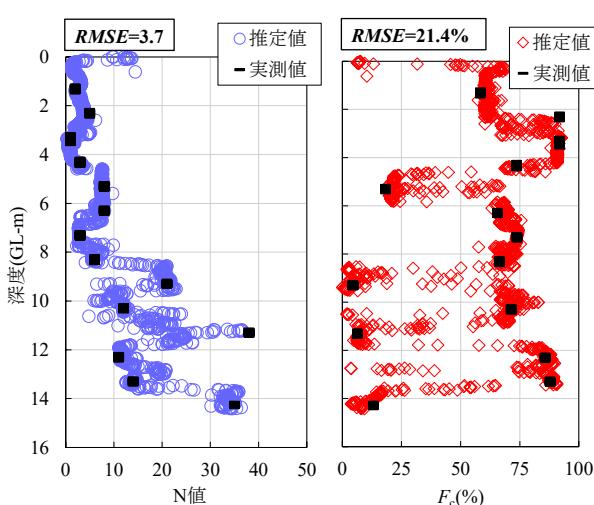


図-8 CPT での推定深度分布（新規地点）

#### 4. 3 新規地点での適用性

RST の検討と同様に、新規地点での適用性を確認するため、地点 A と地点 B のデータで学習を行い、地点 C のデータを用いて推定精度の検証を行った。N 値の RMSE は 12.7、 $F_c$  の RMSE は 57.8% となり、非常に精度が低いことがわかった。そこで、地点 A と地点 B のデータに地点 C のデータの 50% を加えて学習データとし、地点 C の残りの 50% をテストデータとして精度検証を行った。推定値の深度分布を図-8 に示す。地点 C は、深度が深くなるに従って砂とシルトが互層状態となり、 $F_c$  の推定が難しい地盤であるものの、互層状態の傾向をよく捉えており、N 値、 $F_c$  ともに大幅に推定精度が向上した。

#### 5 おわりに

サウンディング調査 (RST、CPT) を対象として、計測データから土質定数を推定する「サウンディング AI」の適用性を検証した。新規地点での適用に際しては、新規地点で学習用のデータを取得し、再学習を行うことで、推定精度が向上することが確認できた。今後は、広範囲における多数の教師データを蓄積し、新規地点への適用性を更に向上させていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 熊谷隆宏, 秋本哲平: : 人工知能技術とボーリング削孔時の計測データを活用した土質および強度推定手法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 75, No. 2, pp. I \_163- I \_168, 2019.
- 2) 秋本哲平, 江守辰哉, 上野一彦, 片山遙平, 熊谷隆宏 : コーン貫入試験と人工知能技術を活用した土質定数推定手法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 77, No. 2, pp. I \_721- I \_726, 2021.

# 音響カメラ搭載型 ROV

株式会社本間組 土木事業本部技術部 技術開発研究室 係長 安藤 恒平

## 1 はじめに

我が国の総人口は 2010 年の 1 億 2806 万人をピークに減少が始まり、近年横ばい傾向が見られるが 2035 年には 1 億 1664 万人まで減少すると予測されている<sup>1)</sup>。一方、65 歳以上が占める割合は上昇を続け 2035 年には 3 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者となる予測もある。少子高齢化社会を迎える建設業に従事する労働力も減少する中、生産性の向上は喫緊の課題である。図-1 に示す建設年度別港湾施設数によると、1950 年代半ばの高度経済成長初期から 1980 年代まで施設数が増加し続け、1990 年代半ばまではほぼ横ばい、それ以降減少傾向にあることがわかる。また、建設後 50 年以上となる施設の割合が 2023 年には 32%、2033 年には 58% と予測されており<sup>2)</sup>、港湾施設の点検維持管理業務の増大も大きな問題となっている。従来は詳細定期点検診断時に潜水士による目視調査を実施しているが、港湾の施設の新しい点検技術として、「水中ドローンを使用した海洋構造物の点検」が潜水士に代わる水中部調査手法として提案されている<sup>3)</sup>。しかしながら、通常の ROV に標準搭載されている光学カメラでは濁水下や暗所での撮影が困難であり、水中の環境次第で調査効率が低下することが課題となっている。本報では、水中の透視度に影響されず水中構造物の点検が可能な「音響カメラ搭載型 ROV」を使用した港湾施設の調査事例について報告する。

## 2 機器概要

ROV に標準搭載されている光学カメラでは濁水

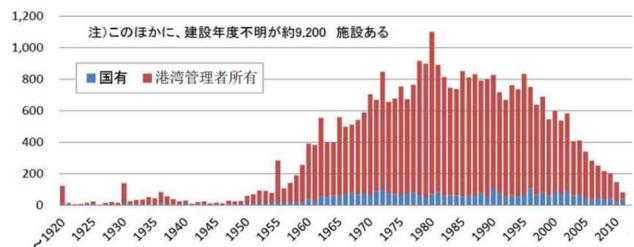


図-1 建設年度別港湾施設数



図-2 音響カメラ搭載型 ROV

下での水中映像の撮影は難しく、また操縦においても視認性が悪いため、機体が構造物等に衝突し損傷するリスクを伴っている。ROV に音響カメラを搭載（図-2）することで、濁水下、暗所においても水中が可視化され、海底や川底等の堆積物・落下物調査や岸壁等の鉛直面の調査・点検が可能となる。また ROV と音響カメラは容易に着脱可能であり現場環境に合わせたオペレーションが可能である。以下に ROV、音響カメラの仕様、特長について記載する。

### 2. 1 ROV 「BlueROV2」

ROV (Remotely Operated Vehicle) は遠隔操作型無人探査機の総称であり、操作者は船上や陸上から遠隔操作による機体の操縦を行い、その場でリアルタイムにカメラ映像を確認できる。

「BlueROV2」は機体重量が約 10.0kg と小型であり、人力での運搬が容易にできる。

## 2. 2 音響カメラ「ARIS」

ARIS (Adaptive Resolution Imaging Sonar, アリス) は、光学式水中カメラでは撮影不可能な濁水下や夜間での撮影を可能にする音響カメラである。

## 3 現場適用事例

### 3. 1 重力式岸壁の損傷部調査

ROV を使用した港湾施設調査では対象範囲に欠測が無いように撮影するが、ROV に標準搭載されている光学カメラは濁水下では水中視程が 1 ~2m 程度となり、一度の撮影で画角に収まる範囲が狭まり、撮影ルートが増加するため調査時間も増大し、点検作業効率が低下する。

今回、音響カメラを活用した効率的な調査方法について検討を行い、重力式岸壁を対象に以下の表-1 に示す作業手順で調査を実施した。

音響カメラを活用することで、透視度に関係なく一定の画角で調査が可能なため、調査時間の短縮が可能となった(図-3)。また、一般的に水中構造物は藻や海生生物が付着しており、光学カメラ映像から損傷部が見えづらく発見が困難になる場合もあるが、音響カメラ映像では海生生物を透過して損傷部の概形が把握できるため、損傷部の発見も容易となる(図-4, 図-5)。

### 3. 2 矢板式岸壁の健全度調査

港湾工事において、ブロック積出岸壁として使用する矢板式の岸壁を対象に、「音響カメラ搭載型 ROV」を用いて健全度調査を実施した(図-6)。この調査は鋼矢板(水深 3m × 延長 70m = 210m<sup>2</sup>) と岸壁前面の海底地盤を対象に調査を行った。なお、撮影時間は 0.5~1 時間程度であ

表-1 音響カメラを活用した調査手順

- ① 岸壁と正対し、5~10m程度の離隔を保ちながら平行移動
- ② 一定の深度を保ち、測線間を移動したら下降し、また一定の深度で測線間を移動
- ③ 音響カメラの映像から損傷部を確認
- ④ 損傷部を確認したら近接し、光学カメラにより細部を撮影
- ⑤ 潜水士にて詳細点検

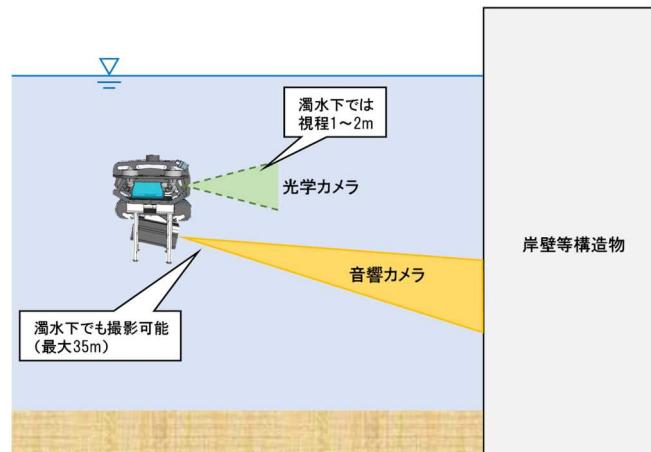


図-3 濁水下における調査イメージ

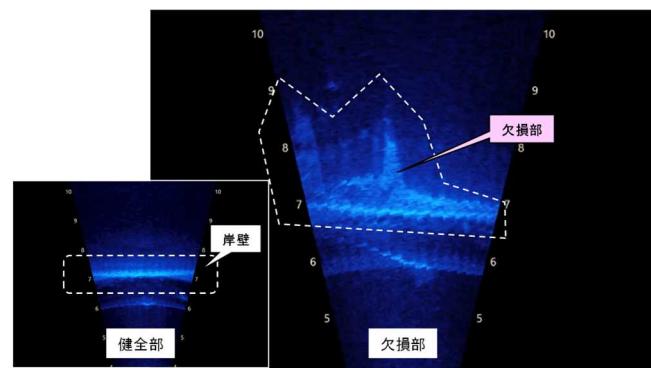


図-4 音響カメラ映像例

(岸壁との離隔 ≈ 7m)

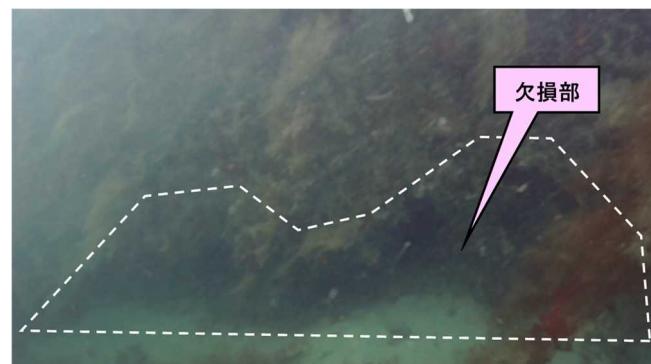


図-5 光学カメラ映像例

(岸壁との離隔 ≈ 1m)

った。調査当日は水中透視度が 1.0m 以下であり、光学カメラで撮影するためには 50cm 程度まで対

表-2 港湾施設の定期点検診断項目例

一般定期点検診断項目【係留施設（矢板式）】

点検項目		点検方法	判定基準案
鋼矢板等	鋼材の腐食、亀裂、損傷（防食工を施してある場合）	目視 ・穴あきの有無 ・水面上の鋼材の腐食 ・表面の傷の状況 ・継手の腐食状況	a □ 付着物は見られるが、発錆、開孔、損傷は見られない。
			b □ 部分的に発錆がある。
			c □ L.W.L.附近に孔食がある。 □ 全体的に発錆がある。
			d □ 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。 □ 開孔箇所から裏埋材が流出している兆候がある。

詳細定期点検診断項目【係留施設（矢板式）】

点検種別	点検項目	点検方法	判定基準案
目視調査 (陸上・水上)	一般定期点検診断項目に準ずる		
潜水調査 (本体工)	鋼矢板等	鋼材の腐食、亀裂、損傷（防食工を施してある場合）	a □ 変状なし。
			b □ 部分的に発錆がある。
潜水調査 (海底地盤)	海底地盤	洗堀、土砂の堆積	c □ L.W.L.附近に孔食がある。 □ 全体的に発錆がある。
			d □ 腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある。 □ 開孔箇所から裏埋材が流出している兆候がある。
鋼材調査	鋼矢板等	肉厚測定	超音波波長計
			測定値を記録する。

新潟県港湾施設点検要領（案）<sup>4)</sup>より抜粋

象物に近接する必要があった。また、鋼矢板には藻や海草などが繁茂しており、外観からは鋼矢板の健全度が確認できない状況であった。

音響カメラ映像による調査の結果、鋼矢板に大きな欠損及び裏埋材の吸出しがないこと、及び岸壁前面の海底地盤が一部洗堀されていることが確認できた（図-7）。従来の潜水士による港湾施設の定期点検診断における調査（表-2）と比較すると、付着物の除去が必要な肉厚測定や鋼材の腐食状況確認などの調査項目は ROV で代替することは出来ないが、変状や欠損、海底地盤の調査は ROV に替えることが可能であり、濁水下においては効率的になることが示された。

### 3. 3 海底障害物調査

作業船を係留予定の岸壁前面の海底にH鋼杭、鋼矢板が残置されていることが判明したが、位置や延長、突出高などは不明であった。岸壁前面の水深は4m程度と浅く、障害物が船舶係船時に船底が衝突する恐れがあるため「音響カメラ搭載型ROV」を用いて調査を実施した（図-8）。

係留岸壁と平行に延長約100mの範囲について音響カメラを用いて撮影し、その後対象物に近接

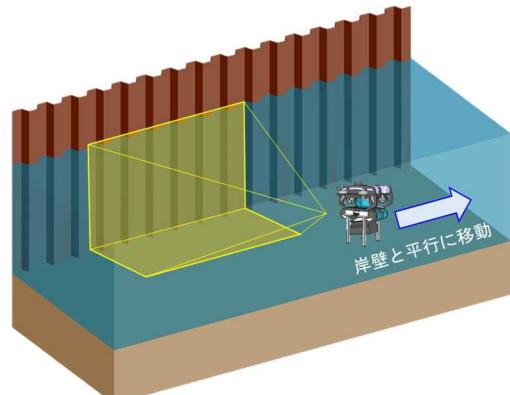


図-6 調査イメージ

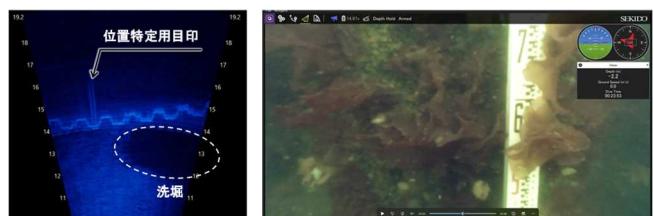


図-7 撮影映像

（上：音響カメラ、下：光学カメラ）

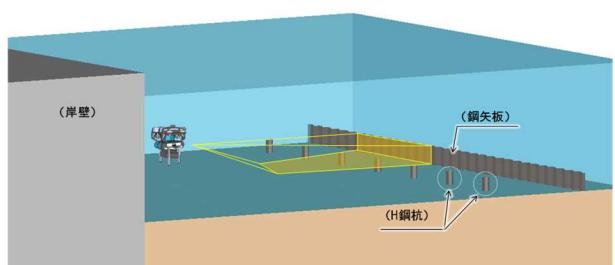


図-8 調査イメージ

して光学カメラを用いて撮影を行った。撮影時間は0.5~1時間程度であった。

調査の結果、岸壁から15~17m程度離れた位置に一定間隔でH鋼杭及び鋼矢板が残置されていることが確認できた(図-9)。音響カメラの活用により俯瞰して対象物を確認できるため、障害物の位置関係の把握が容易であった。また音響カメラの映像で認識された対象物を注視しながら近接し、光学カメラによる撮影を実施した

(図-10)。対象物には藻や海生生物が大量に付着しているため、光学カメラの映像のみでは種類、形状の判別が困難であったが音響カメラでは、H鋼杭、鋼矢板(鉄)と付着物の音波の反射強度の差により、鉄の方がより白く描画され、形状把握が可能となった。濁水下では水中障害物の位置関係、形状把握、種類の判別において光学カメラに比べ「音響カメラ搭載型ROV」が有用であることが示された。

#### 4 おわりに

本報では、「音響カメラ搭載型ROV」を用いた濁水下における水中構造物の調査事例を紹介した。

ROV自体、従来の潜水士による調査・確認が必要な場面でも容易に水中状況を安全かつリアルタイムで映像取得でき、生産性向上に寄与できる技術であるが、さらに「音響カメラ搭載型ROV」を用いることで濁水下でも調査可能となり、さらなる点検作業の効率化が期待できる。現状では潜水士作業をすべて代行できるものではないが、併用することで担い手不足解消、潜水士の負担軽減に繋がると考える。

今後は機能を拡充し、点検業務の効率化・高度化の推進を図るとともに、より魅力ある建設現場が実現できるよう技術開発を継続して取り組んでゆきたい。

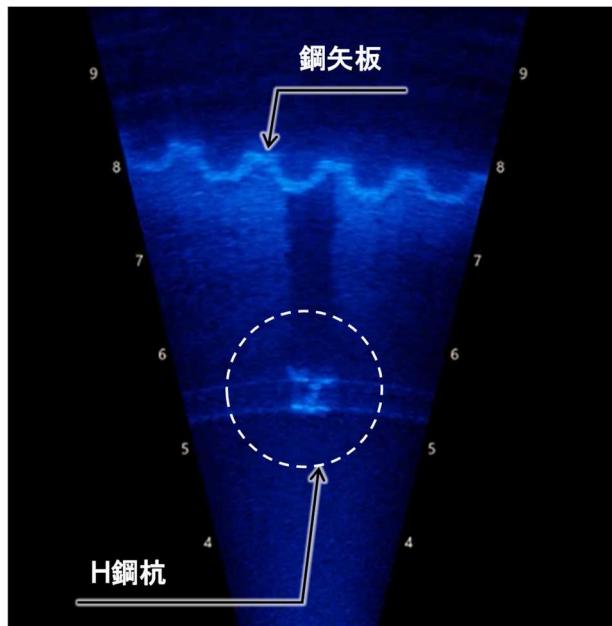


図-9 音響カメラ映像例

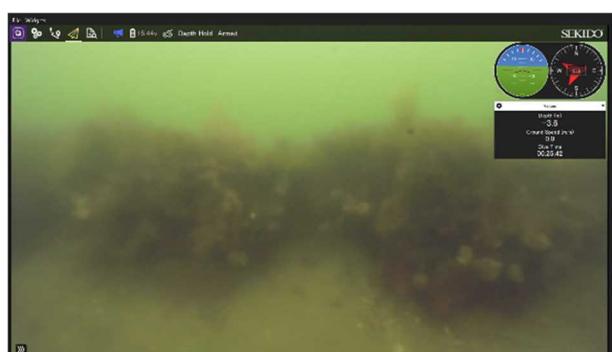
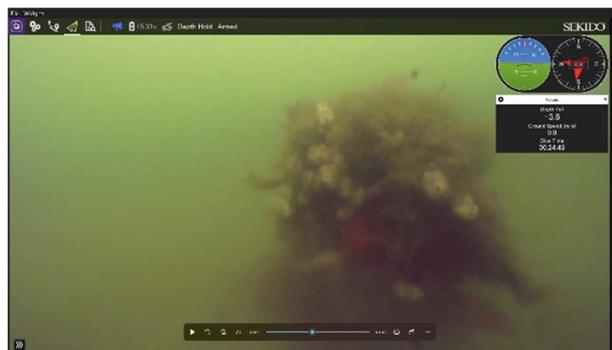


図-10 光学カメラ映像例

(上:H鋼杭、下:鋼矢板)

#### 参考文献

- 1) 内閣府：令和5年度高齢社会白書（概要版）
- 2) 国土交通省：令和2年度国土交通白書 概要
- 3) 港湾の施設の新しい点検技術カタログ（案）：令和5年3月版
- 4) 新潟県港湾施設点検要領（案）：平成21年3月

## ② 社会資本の的確な維持管理・更新

# コンクリート床版用橋面舗装の端部防水工法

福田道路株式会社 技術研究所 ○渡辺 直利  
国立研究開発法人土木研究所 川上 篤史

## 1 はじめに

国内では、高度経済成長期以降に集中的に整備されたインフラの老朽化が深刻な問題となっている。道路橋においては、2021年度の時点で全体の約30%が建設から50年が経過しており、その割合は、今後も増加することが予想されている<sup>1)</sup>。老朽化が進行したコンクリート床版橋においては、橋面舗装の端部や舗装の縫目から浸透した水や塩分などの影響による、コンクリート床版の土砂化が問題となっており、対策が求められている<sup>2)</sup>。

本報告は、橋面舗装端部の止水性を向上させるため、①アスファルト舗装とコンクリート構造物の縫目に柔軟な材料を原料にした「特殊成型目地材」を使用する方法、②塗布型の防水材により舗装端部の表面に防水層を形成する「端部表面防水工法」の2つの技術について、室内試験および試験施工により性能評価を行い、結果を取りまとめたものである。

## 2 橋面舗装の端部防水工法の概要

### 2-1. 特殊成型目地材

コンクリート床版橋における、橋面舗装の一般的な断面構造例を図-1に示す。橋面舗装の端部にあたるアスファルト舗装と橋梁壁高欄などのコンクリート構造物の縫目は、成型目地材や注入目地材を設置することが標準となっている。

本検討に用いた特殊成型目地材は、アスファルト舗装とコンクリート構造物の縫目の密着性を高め、雨水などの浸透を防ぐために開発された技術ある。特殊成型目地材の外観を写真-1、仕

様を表-1に示す。ブチルゴムを主原料とし、低温でも柔軟性を保ち、高温でもダレない特徴がある。通常の成型目地材と同様に、コンクリート構造物側の接着面にプライマを塗布した後に、ロールになっているテープ状の特殊成型目地材を伸ばしながら貼り付け、後にアスファルト舗装を施工する。

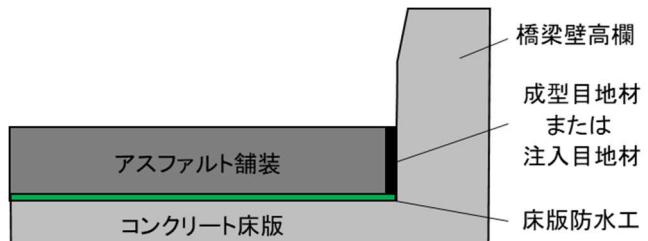


図-1 橋面舗装の断面構造例



写真-1 特殊成型目地材の外観

表-1 特殊成型目地材の仕様

項目	性状値	
主原料	ブチルゴム	
寸法	W=50mm, t=5mm	
針入度(円すい針) mm	9以下	
流れ mm	3以下	
引張量 mm	10以上	
弾性 (球針)	初期貫入量 mm	0.5~1.5
	復元率 %	60以上

※ 舗装試験便覧、加熱型注入材の品質標準(高弾性タイプ)に準拠

## 2-2. 端部表面防水工法

アスファルト舗装の端部は大型の転圧機械による締固めが困難で、締固め度が低い傾向にある。締固め度の低いアスファルト舗装は水を通してやすく、舗装内部に浸透した水や塩分がコンクリート床版面に滞留する可能性があった。

端部表面防水工法は、舗装端部の表面に塗布型の防水材を施工することで、舗装内部への水や塩分の浸透を抑制する技術である。

端部表面防水工法の構成断面を図-2に示す。特殊セメント乳剤をベースとしたレベリング材を塗布することで、アスファルト舗装表面の空隙を閉塞し、アクリル系水性塗料に珪砂を混合したトップコートで表面の保護、および路面の滑り抵抗を確保している。

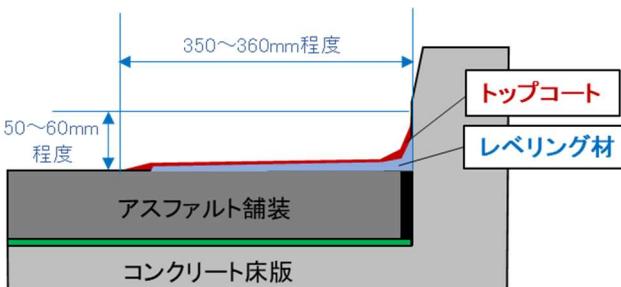


図-2 端部表面防水工法の構成断面

端部表面防水工法の施工フローを図-3に示す。アスファルト舗装との付着性を確保するために施工基面の清掃を行い、施工箇所周辺の養生を行う。レベリング材を計量・混合した後に、ゴムレーキなどでアスファルト舗装面に均一に塗布する（写真-2）。レベリング材が乾燥するまで2～3時間程度の養生を行い、トップコートをローラ刷毛などでムラなく塗布する（写真-3）。30分程度養生し、トップコートの乾燥を確認し施工完了である（写真-4）。特殊な機材は不要で、容易に施工することが可能である。また、レベリング材・トップコートともに揮発性有機化合物（VOC）を含有しない水性材料であり、環境に優しい技術である。

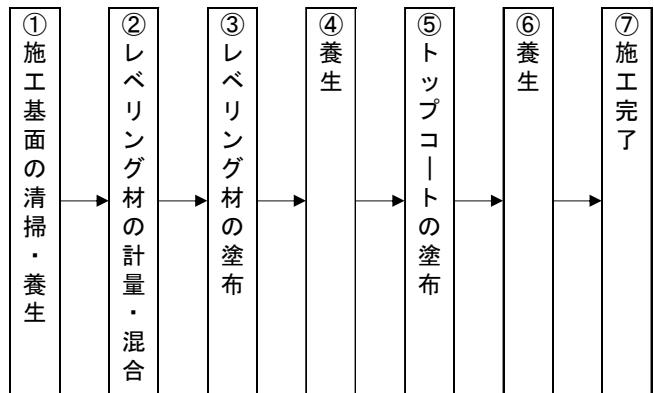


図-3 端部表面防水工法の施工フロー



写真-2 施工状況（レベリング材の塗布）



写真-3 施工状況（トップコートの塗布）



写真-4 施工完了

### 3 性能評価方法

#### 3-1. 室内試験における性能評価

特殊成型目地材および端部表面防水工法について、室内試験による性能評価を行った。評価項目の一覧を表-2に示す。特殊成型目地材の試験では、コンクリート平板( $t=40\text{mm}$ )に特殊成型目地材を貼り付けた後にアスファルト混合物を舗設し、継目部を中心に所定の寸法に切断した供試体を用いた。

端部表面防水工法の試験では、 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 50\text{mm}$ に成型した密粒度アスファルト混合物の表面に、端部表面防水工法を施工した供試体を用いた。加圧透水試験では密粒度アスファルト混合物の締固め度を95～98%程度に調整し、端部表面防水工法の施工前後で評価を行った。

温冷繰返し負荷については、供用中の環境の変化を模擬して $60^{\circ}\text{C}$ 水中4hr、 $-10^{\circ}\text{C}$ 気中4hr、 $23^{\circ}\text{C}$ 気中16hrを15サイクル実施している。

表-2 室内試験における性能評価項目

種別	試験項目	試験寸法	試験条件
特殊成型 目地材	引張接着性試験 (引張接着強度)	$100\text{mm} \times 40\text{mm}$	温冷繰返し負荷、 試験温度 $23^{\circ}\text{C}, -10^{\circ}\text{C}$
	せん断試験 (せん断強度)		
	加圧透水試験 (止水性)	$\phi 100\text{mm}, t=40\text{mm}$	温冷繰返し負荷、 加圧 $150\text{kPa}$
端部表面 防水工法	引張接着性試験 (引張接着強度)	$40\text{mm} \times 40\text{mm}$	温冷繰返し負荷、 試験温度 $23^{\circ}\text{C}, -10^{\circ}\text{C}$
	加圧透水試験 (止水性)	$\phi 100\text{mm}, t=50\text{mm}$	締固め度95～98%、 加圧 $150\text{kPa}$

#### 3-2. 試験施工による止水性評価

土木研究所舗装走行実験場にて橋面舗装を模擬した実寸大の試験施工を行い、散水実験による止水性の評価を行った。

試験施工断面を図-4に示す。横断勾配下流側のコンクリート舗装版の上端縁部に、水抜き口を1m間隔で配置し、アスコン層と床版防水層に漏水があった場合は排水溝に水が流出する構造となっている。

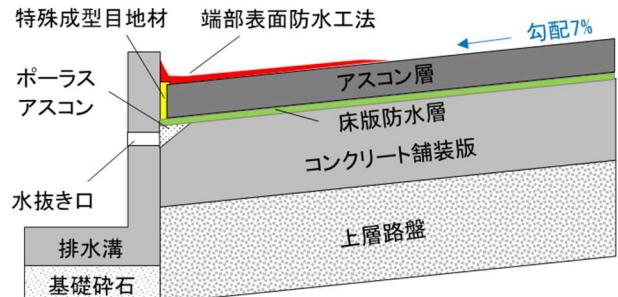


図-4 試験施工の断面構造

散水実験の実施状況を写真-5に示す。試験施工では成型目地材なし・成型目地材ありの工区を設け、端部表面防水工法の施工前後で2回(1回目:2022年3月10日、2回目:2023年3月15日)の散水実験を実施している。散水量は延長1mあたり6.5L(計78L)とし、工区の境界は散水した水が越水しないように仕切り版を設置した。また、散水による漏水が判別できるように、顔料で朱色に着色した水を使用した。



写真-5 散水実験の実施状況

### 4 性能評価結果

#### 4-1. 室内試験における性能評価結果

室内試験結果の一覧を表-3に示す。特殊成型目地材の引張接着強度は $23^{\circ}\text{C}$ で $0.14\text{MPa}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ で $0.50\text{MPa}$ 、せん断強度は $23^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ とともに測定不能( $0.1\text{MPa}$ 以下)であった。特殊成型目地材が柔軟な材料であるため、引張接着強度・せん断強度は低い結果となった。

特殊成型目地材の加圧透水試験は不透水の判断基準となる $1.0 \times 10^{-7}$ 以下であり、温冷繰返し負荷後も止水性は良好であった。

表-3 室内試験結果（特殊成型目地材）

種別	試験項目	試験温度	試験結果
特殊成型 目地材	引張接着性試験 (引張接着強度)	23°C	0.14 MPa
		-10°C	0.50 MPa
	せん断試験 (せん断強度)	23°C	測定不能 (0.1MPa以下)
		-10°C	
端部表面 防水工法	加圧透水試験 (止水性)	-	$1.0 \times 10^{-7}$ 以下 (不透水)
		-	
	引張接着性試験 (引張接着強度)	23°C	1.09 MPa
		-10°C	3.52 MPa

端部表面防水工法の引張接着強度は 23°Cで 1.09 MPa, -10°Cで 3.52 MPa と道路橋床版防水便覧における防水材の引張接着強度の規格 (23°C, 0.6 MPa 以上) を満足する結果であった。

端部表面防水工法の加圧透水試験結果を図-5 に示す。端部表面防水工法なし(未施工の密粒度アスファルト混合物)は締固め度が 97%程度を下回ると透水性係数が増大し  $1.0 \times 10^{-7}$  を上回っているのに対して、端部表面防水工法ありは締固め度が 97%を下回っても透水係数が  $1.0 \times 10^{-7}$  以下の不透水であった。端部表面防水工法の施工により、アスファルト混合物内部への水の浸透が抑制されている結果となった。

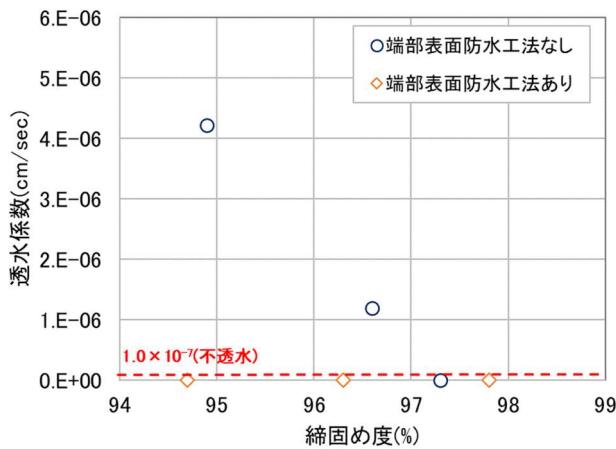


図-5 加圧透水試験結果(端部表面防水工法)

#### 4-2. 試験施工による止水性評価結果

舗装走行実験場における散水実験の結果を表-4 に示す。工区の延長が異なるため、縦断方向に対する単位延長あたりの漏水量を評価指標と

した。1 回目の散水実験の漏水量は 1 工区 (特殊成型目地材なし) : 315 g/m, 2 工区 (特殊成型目地材あり) : 3 g/m と特殊成型目地の有無による漏水量の差が明確であった。2 工区の微量の漏水については、1 工区から侵入した水がアスコン層の下部を通過した可能性や、舗装端部の締固め度の低い部分から水が浸入した可能性も考えられるが、詳細な要因の特定には至らなかった。

2 回目の散水実験では、特殊成型目地材の有無に関わらず全ての工区で漏水がなかった。端部表面防水工法の施工により止水性が向上し、漏水がなくなったものと判断できる。

表-4 散水実験結果

試験年月日	工区	特殊成型目地材の有無	端部表面防水工法の有無	単位延長あたりの漏水量(g/m)
2022.3.10 (1回目)	1	×	×	315
	2	○	×	3
2023.3.15 (2回目)	1	×	○	0
	2	○	○	0

#### 5 まとめ

室内試験・試験施工により性能評価を行った結果、特殊成型目地材および端部表面防水工法は、橋面舗装端部の止水性向上に有効な技術であると考えられる。端部表面防水工法については既設舗装にも施工が可能であり、予防保全工法としての活用も期待される。

本検討では、特殊成型目地材と端部表面防水工法を個別の技術として評価を行っているが、これらの技術を併用し“端部防水システム”を構築することで、橋面舗装の更なる止水性向上と長寿命化に寄与できると考える。

#### <参考文献>

- 1) 国道交通白書 2022, 国土交通省 (2022. 6)
- 2) 道路橋コンクリート床版の土砂化対策に関する調査研究, 国土交通省, 土木技術資料第 4398 号 (2020. 3)

# 「塩分吸着剤」を添加した交換可能な成型パネルの接合による 塩害抑制工法の開発

(株)福田組 土木部 技術部 設計課 担当課長 ○井貝 武史  
長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 教授 村上 祐貴  
(株)ジェイアール総研エンジニアリング 塩害対策技術部 次長 鈴木 昭仁  
(株)道路建設コンサルタント 代表取締役社長 山田 宝史

## 1 はじめに

わが国の社会インフラの多くは、高度経済成長期以降に整備されており、今後建設から50年以上経過する施設が加速度的に増加することが分かっている。例えば、建設後50年以上経過する道路橋の割合は、2023年には約39%，2033年には約63%に達すると予想されている<sup>1)</sup>。

高齢化した社会インフラの劣化は深刻である。2019年に調査した都道府県等が管理する橋梁の10%，トンネルの約38%が構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態と診断された<sup>2)</sup>。今後、社会インフラの劣化はさらに進行することに疑う余地はなく、限られた財源の中で社会インフラの機能を長期に持続するための維持管理を効率的に進めることができない課題である。

本稿では、塩害環境にある社会インフラの機能を長期に維持する新たな手法として、「塩分吸着剤」を添加した交換可能な成型パネルの接合による塩害抑制工法の概要を説明するとともに、実構造物への実装を想定した大型供試体を用いた屋外暴露試験について報告するものである。

## 2 「塩分吸着剤」を添加した交換可能な成型パネルの接合による塩害抑制工法の概要

### 2. 1 開発背景

本研究開発で対象としたコンクリートの塩害

劣化は、沿岸部における飛来塩分や積雪寒冷地において散布される融雪剤等に起因し、コンクリート中の鉄筋が発錆してから腐食ひび割れ等の劣化が顕在化するまでの期間が短い。また、塩害は構造性能を著しく低下させ、コンクリート片の剥落による第三者被害を引き起こす場合もあり、特に注意すべき劣化現象である。

既存の塩害対策としては、①塩化物イオンの遮断、②塩化物イオンの除去、③鉄筋腐食の抑制に大別され、各対策に該当する補修工法がある。これまでに様々な塩害対策工法が実装されているが、劣化程度が比較的軽微なケースを対象とした低コストの塩害対策工法が無いことが課題である。現状ではこのような軽微な劣化に対して過不足のない適切な補修方法は見当たらず、コストの観点から、経過観察となる場合が多い。

そこで、本研究開発では、主に予防保全のフェーズが終わり、劣化の進行フェーズ(進展期)へと移行した劣化程度が比較的軽微なコンクリート構造物に対する補修工法を開発すること目的とする。

### 2. 2 工法の概要

提案する補修工法の全体概要を図-1に示す。塩分が内在する既存コンクリート構造物の表面に「塩分吸着剤」を添加した成型パネルを接合する。成型パネルは吸着パネルと不織布の2つの部材で構成されている。吸着パネルには「塩分吸

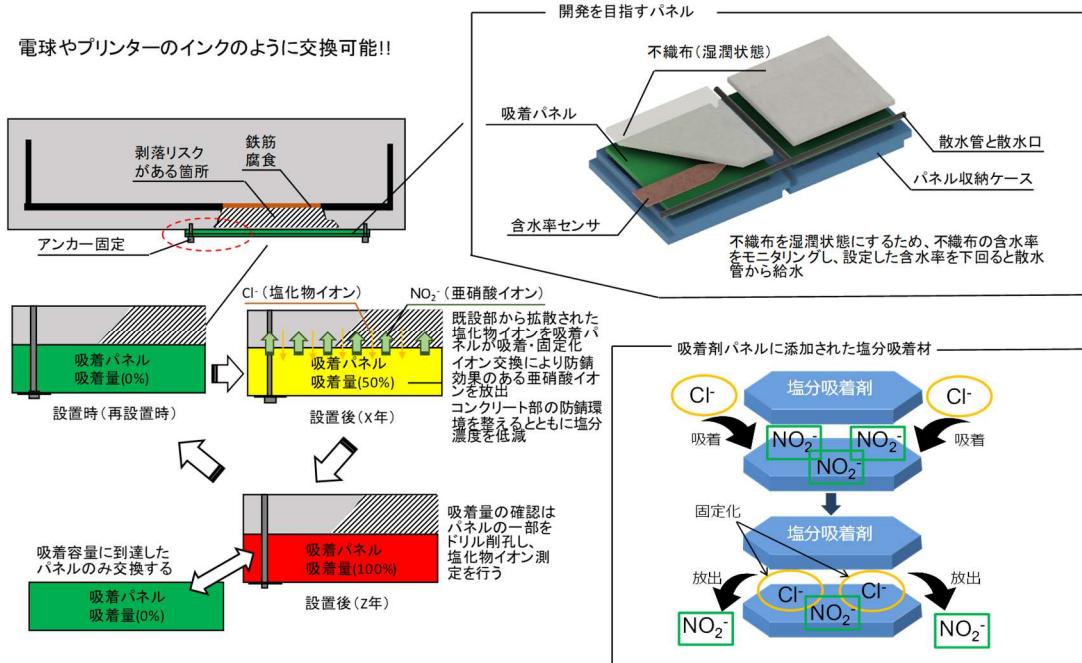


図-1 「塩分吸着剤」を添加した成型パネルによる塩害抑制工法の概要

着剤」が塗布されている<sup>3)</sup>。「塩分吸着剤」の主成分である亜硝酸型ハイドロカルマイトは、塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)を吸着し、亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)を放出する。コンクリート構造物と接合された成型パネルは濃度勾配や移流を駆動力としてコンクリートに内在する塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)を吸着・固定化する。また、あらかじめ「塩分吸着剤」に保持させた防錆効果を有する亜硝酸イオン(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)を、吸着・固定化した塩化物イオンとのイオン交換によりコンクリート内部に拡散させる。これによりコンクリート内部の鉄筋腐食の根本的な原因である塩化物イオンを除去するとともに亜硝酸イオンを浸透させることで高い防錆環境を構築する。成型パネルはボルト固定のため、着脱可能であり、塩化物イオン吸着容量に到達したパネルは、交換することでその機能が回復することができる。

### 2.3 開発の目標値

塩害環境下の鉄筋コンクリート構造物に対する防錆環境の構築を目標とする。防錆環境構築の目標値は、高度経済成長期に建設された構造物の鉄筋かぶりは50mmの設定が多く、塩害劣化

を生じている構造物の鉄筋かぶりはそれよりも小さい場合が多いことから、対策後3年以内のコンクリート表面から深さ50mmの位置の亜硝酸イオン濃度の可溶性塩化物イオン濃度に対するモル比([NO<sub>2</sub><sup>-</sup>]/[Cl<sup>-</sup>])=0.8以上を目標値とした。

### 3 大型供試体を用いた屋外暴露試験

#### 3.1 試験概要

これまでのイオン移動確認実験は、小型モルタル供試体(100×100×100mm)を用いて、試験室内恒温室にて湿度と温度を制御した促進環境で行っていたが、実構造物への実装を想定し、四季を通じた自然環境におけるイオン移動量を確認する必要がある。そこで、大型コンクリート供試体(900×900×100mm)を用いて、最長で2年間の暴露を行い、長期におけるコンクリート内部のイオン分布を確認する。

#### 3.2 使用材料および配合

大型コンクリート供試体の使用材料について、セメントCは普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm<sup>3</sup>)を用いた。細骨材Sは川砂(表乾密度:2.57g/cm<sup>3</sup>)を、粗骨材Gは川砂利(表乾密度:

表-1 コンクリート配合

呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	G <sub>max</sub> (mm)	スランプ SL(cm)	空気量 AC(%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
						C	W	S	G	Ad	NaCl
24	25	12	4.5	53.0	38.3	285	151	702	1156	0.891	16.48

表-2 コンクリートの品質

フレッシュ性状			圧縮強度
SL (cm)	AC (%)	CT (°C)	$\sigma_{28}$ (N/mm <sup>2</sup> )
12.0	3.3	20	30.4

2.62g/cm<sup>3</sup>)を用いた。化学混和剤 Ad は AE 減水剤標準形(I種)(リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体)を用いた。供試体の Cl 量で 10kg/m<sup>3</sup> となる塩化ナトリウム(NaCl)を添加した。コンクリートの配合を表-1 に示す。

コンクリートの練混ぜは、レディーミキストコンクリート工場にて水および化学混和剤の除いたコンクリートを空練りし、アジテータ車にて、化学混和剤および NaCl を溶かした単位水量を水中ポンプで加え、アジテータ車のドラムの高速回転を 5 分間行い練り混ぜた。練混ぜ後のフレッシュ性状および材齢 28 日の圧縮強度  $\sigma_{28}$  を表-2 に示す。

コンクリート以外の使用材料は、不織布(パープル繊維およびバインダー合成繊維、厚さ 7mm), 保水性向上剤(水溶性ポリマー、PVA)を用いた。

### 3.3 実験方法

実験水準を表-3 に示す。事前の室内実験において、不織布を圧縮し密着させることで、また、保水性向上剤(PVA)を用いることで、イオン移動量を増すことができるが確認されたことから、実環境において確認を行う。また、長期におけるイオン移動を想定し、イオン移動に必要となる水分を追加供給する必要性について検討を行った。

図-2 に示すように、コンクリート試験体(900×900×100mm)に、不織布(400×400×7mm)

表-3 実験水準

項目	水準
不織布の圧縮量	0, 2mm
PVA の添加	有, 無
給水頻度	無, 1 回/週, 1 回/月
コア採取時期	9, 15, 24 か月

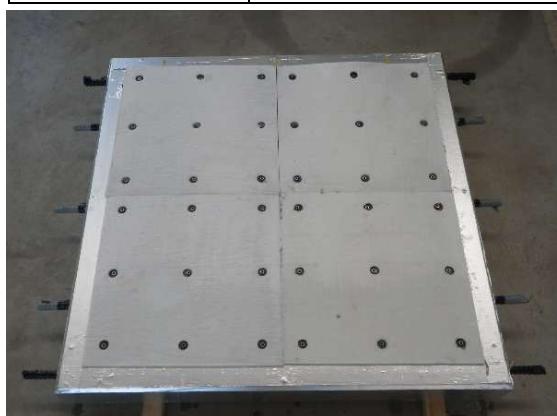


図-2 吸着パネル接合前の状況

を 4 枚並べ、その上に吸着パネル(400×400×10mm)を 4 枚並べ、アンカーを用いて周囲および中央を接合した。この際、不織布周囲の厚さをスケールで測定し、不織布の圧縮量(0, 2mm)が均一になるよう調整した。パネルを設置した面を除き、周囲・背面をアルミテープでシールし、パネル上面を除き、パネル周面、突合せ部およびボルト部をシーリング材で止水処理を行った。パネル上面は雨水による自然給水および給水のため解放状態とした。

作成した試験体を、単管、その他鋼材を用いて、屋外に縦置き静置した。なお、設置場所は、飛来塩分や融雪剤の影響を受けない場所とし、供試体は南向きに各供試体に影ができないよう 1.6m の間隔をあけ設置した(図-3)。

所定材齢を経過した段階で、成型パネルを取り外し、コンクリート供試体の上端より 124 (1



図-3 屋外暴露試験状況

段目), 325 (2段目), 575 (3段目), 776mm (4段目)の高さからコア試料( $\phi 75\text{mm} \times 100\text{mm}$ )の採取を行った。採取したコア試料は、パネル設置面から10mm厚さごとにコンクリートカッターにより切断し、ハンマーで粗粉碎後、サイクロミルにて15分間粉碎を行い、粉末化する。粉末化した試料は、日本非破壊試験協会NDIS3433「硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法」に基づいて全塩化物イオンを抽出し、イオン分析計を用いて分析を行った。分析対象は、全塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )および亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )とし、測定は3回行い、その平均値とした。

### 3. 4 実験結果および考察

図-4に、パネル設置後材齢9か月における試験結果の例として、実験水準[不織布の圧縮量2mm, PVA添加無, 給水頻度1回/月]の亜硝酸イオン濃度の可溶性塩化物イオン濃度に対するモル比( $[\text{NO}_2^-]/[\text{Cl}^-]$ )を示す。

試験結果より、パネル設置面から30mm程度の深さまで脱塩効果が認められた。また、試験体下部(3~4段目)は上部(1~2段目)と比較し、脱塩量および亜硝酸拡散量が大きいことが確認された。この一要因として、不織布の含水率が下部に行くほど大きいことが考えられた。

表層付近でのモル比は0.2程度であり、開発目標モル比0.8以上には届かないものの、パネル設置後9か月において、防錆環境の構築が進

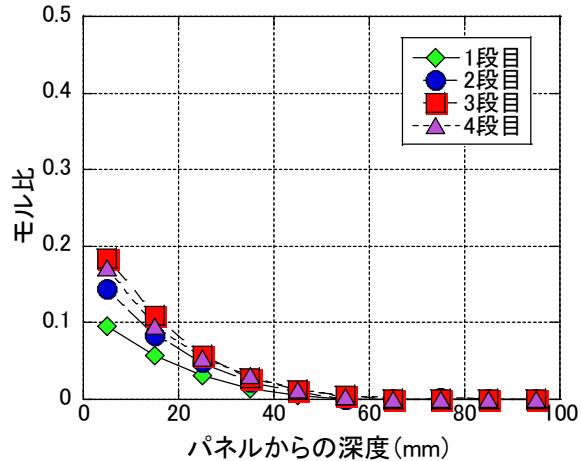


図-4 試験結果 設置9か月  
(圧縮2mm, PVA無, 給水1回/月)

んでいることが確認された。

### 4 おわりに

本稿では、「塩分吸着剤」を添加した交換可能な成型パネルの接合による塩害抑止工法の概要と、現在実施中の大型供試体を用いた屋外暴露試験について報告した。屋外暴露試験は現在も継続中であり、引き続き実施するとともに、塩害抑止工法の確立に取り組んでいく計画である。

### 〔謝辞〕

本研究開発の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP20004)の結果得られたものです。ここに記し、感謝いたします。

### 〔参考文献〕

- 国土交通省編：令和2年版国土交通白書, pp. 141-142, 2020.
- 国土交通省 道路局 国道・技術課：橋梁等の2019年度(令和元年度)点検結果を取りまとめ, 2020.9.11
- 鈴木昭仁, 水野清, 立松英信, 飯島亨：塩分吸着剤を配合した防錆材の高性能化による効果, 土木学会第71回年次学術講演会, pp. 479-480, 2016.9

## 防水および塩分吸着性能を兼ね備えた

### 薄層表面処理工法『CAMシールNEOプラス』

東亜道路工業株式会社 技術研究所

○園田 涼

北陸総括支店 副支店長

砂田 良和

#### 1はじめに

建設後 50 年を迎える市町村管理の道路橋は約 52 万橋現存しており、そのうち 5% の橋面は、コンクリート舗装で供用されている<sup>1)</sup>。このような橋面コンクリート舗装の路面は、供用中の気象環境や交通負荷などによる細粒分の損失と粗骨材の飛散、ひび割れが顕在化しており、損傷部からの雨水等の浸入も相まって破損が加速度的に進行し得る環境にある。修繕設計においては、既設コンクリート舗装部の切削工法や防水工を施した上でのアスファルト混合物によるオーバーレイ工法が選定されるが、切削および施工時に生じる振動負荷や騒音発生による近隣住民への負担、死荷重の増加などの影響が懸念される。浸透防水型薄層表面処理材は、特殊な施工機械を使用しないため、振動や騒音が生じない。また、常温で取り扱う事ができる厚さ数mmの表面処理材であるため橋梁や環境への負担が小さく、さらには扱い手不足や限られた予算の中で、施工業者が簡易かつ従来工法に比べ安価に施工できる常温材料である。本報では、浸透防水型薄層表面処理材による既設コンクリート舗装の修繕効果とその施工事例について報告する。

#### 2 浸透防水型薄層表面処理材の構成と性能

浸透防水型薄層表面処理材は、浸透防水型プラス（以下、浸透防水材）と薄層表面処理材から構成されている（図-1）。

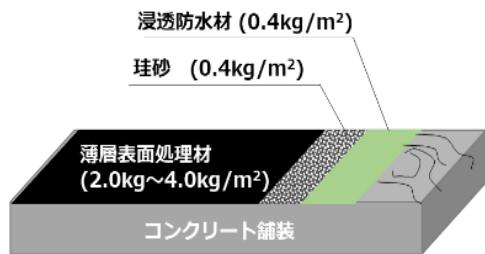


図-1 浸透防水型薄層表面処理材の構成

#### 2.1 浸透防水材

浸透防水材は 2 液反応硬化型の特殊アクリル樹脂であり、橋面コンクリート舗装のひび割れに浸透することで、橋面コンクリート舗装、床版保護に寄与する。また、図-2 に示すように現在浸透防水材として塩分吸着型のエポキシ樹脂を用いることで塩害対策の効果も発揮する工法も検討している。この材料はひび割れに浸透するだけではなく、イオン交換により塩分吸着し、放出された硝酸イオンにより不動態被膜を形成し鉄筋腐食を抑制する。

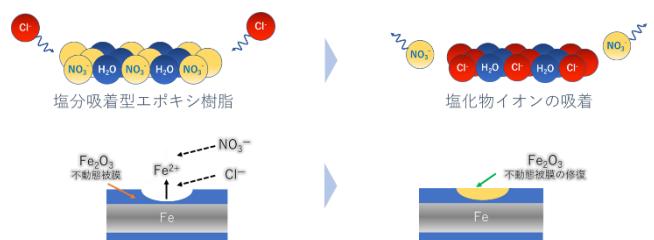


図-2 塩分吸着型エポキシ樹脂の効果

## 2. 1. 1 浸透防水材による断面修復効果

橋面コンクリート舗装の路面は、供用中の様々な負荷によってモルタル分の損失や粗骨材の抜け出しが生じ、水の浸入経路となることで舗装の最弱部となる。このような箇所の補修には、一般的にセメント系断面修復モルタルが使用されるが、図-3に示すように浸透防水材を使用した同一素材による断面修復を行うことで浸透防水効果を維持することが可能と考えた。表-1にJIS R 5201に準拠した浸透防水モルタルの性能試験結果を示す。ここで使用したモルタルは、珪砂と浸透防水材を4:1の重量比で混合したものであり、不陸に充填した後に所定の浸透防水材を塗布することで断面修復効果を有しながらも同一素材による一様な浸透防水層が形成できる。

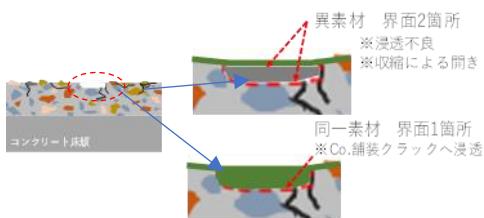


図-3 断面修復の考え方

表-1 浸透防水モルタル性状

試験項目	単位	試験値	規格	試験方法
圧縮強さ	N/mm <sup>2</sup>	39.5	35.0以上	JIS R 5201

## 2. 1. 2 浸透防水材の浸透性

表-2に浸透防水材の浸透性能を示す。これらの試験はNEXCO試験法426に準拠し、各規格を満たすことが確認された。

表-2 浸透防水材の浸透性能

試験項目	単位	試験値	規格	試験方法
ひび割れ含浸深さ	mm	29	20以上	NEXCO試験法426
ひび割れ含浸曲げ強度	N/mm <sup>2</sup>	2.2	2.0以上	

## 2. 2 薄層表面処理材

薄層表面処理材はノニオン系改質アスファルト乳剤と粉体を混合したセメント・アスファルト乳剤モルタル（以下CAM）である。CAMは、既設路面の平たん性を改善するとともにすべり抵抗性能・ねじれ抵抗性能の向上に寄与する。本材料は、特殊な機械を必要とせず、ゴムレーキなどの器具で施工が可能であるため、既設コンクリート舗装への振動負荷を軽減し安全性に優れる。

## 3 浸透防水材の修繕効果

本材料は浸透防水材と薄層表面処理材で構成されるため優れた防水性能を持つ。防水性能は道路橋床版防水便覧および構造物施工管理要領（NEXCO）グレードII性能照査試験で規定される防水性試験II・引張接着試験によって評価した。試験結果を表-3および写真-1、2に示す。いずれの試験においても基準値を満たす防水性能を有することが確認された。これによりコンクリート床版への雨水の浸透を防ぐことが可能であるといえる。また、-30°Cから50°Cにおいて優れた接着性能を有するため、寒冷地での使用も可能である。また、2.1で前述した塩分吸着型のエポキシ樹脂を用いた浸透防水型薄層表面処理材に関して同様に防水性試験を行った。試験結果を写真-3に示す。写真-1、2同様に防水性能を有することが確認された。この材料について今後他の室内試験や試験施工を行う予定である。

表-3 浸透防水型薄層表面処理に関する試験結果

試験項目	試験温度	単位	試験値	規格	試験方法
防水性試験II	—	—	漏水なし	漏水のないこと	道路橋床版防水便覧
引張接着試験	-30°C	N/mm <sup>2</sup>	1.6	1.2以上	
	-10°C		1.65	1.2以上	
	23°C		0.89	0.6以上	
	50°C		0.42	0.07以上	

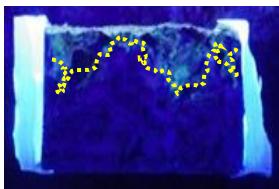


写真-1 薄層表面処理のみ



写真-2 浸透防水型薄層表面処理



③ 施工直後



写真-4 施工状況

写真-3 浸透防水型薄層表面処理（塩分吸着）

#### 4 施工事例

表-4 に施工概要を示す。施工箇所は奥出雲町の山間に位置する橋梁であり、この地域の住民の生活に欠かせない重要な橋梁である。施工の流れを写真-4-①～③に示す。まず既設橋面コンクリート舗装の清掃後、骨材抜け等が生じている箇所へ浸透防水材を用いた断面修復を行った後、ローラ刷毛で浸透防水材を  $0.4 \text{ kg}/\text{m}^2$  塗布し、5号硅砂を  $0.4 \text{ kg}/\text{m}^2$  敷布した。浸透防水材の硬化を確認した後、ゴムレーキでCAMを  $4.0 \text{ kg}/\text{m}^2$  敷き均した。CAMは約1時間程度で硬化が確認され、直ちに交通開放した。

表-4 施工概要

施工年月	2021年3月
施工場所	島根県仁多郡奥出雲町八川地内
橋梁名	山ノ神橋
施工面積	$39\text{m}^2$



① 施工前



② 不陸調整および  
浸透防水



① area 1



② area 2

写真-6 area 1～area 2 の路面状況

施工当日は舗装表面の荒れが少ない箇所（area 1）、除雪車等の通行によって舗装表面は荒れているが施工前の橋面の不陸修正（断面修復）の

ために塗布した下地の浸透防水モルタルにより橋面が保護されている箇所 (area 2) の 2 箇所で透気試験を行った。試験結果を図-4 に示す。負圧が 0 に戻るまでの所要時間は area 1 > area 2 であり、area 2 よりも area 1 の舗装の気密性（防水性）が大きい。また、表-5 に試験タイミング・試験箇所ごとの透気係数を示す。透気係数は負圧が最小の状態から 0 に戻るまでの経過時間から求めた。area 1 では施工後 2 年でも施工直後と同オーダーの値であり防水性を保持していると考えられる。area 2 では  $10^{-6}$  オーダーとなっているが、area 1 との透気係数の差はわずかであった。area 2 程度のような薄層表面処理材のみの損傷ではまだ十分に防水性を保持していることを確認した。今後薄層表面処理材を塗り重ねることで状態を維持していくことができると言える。

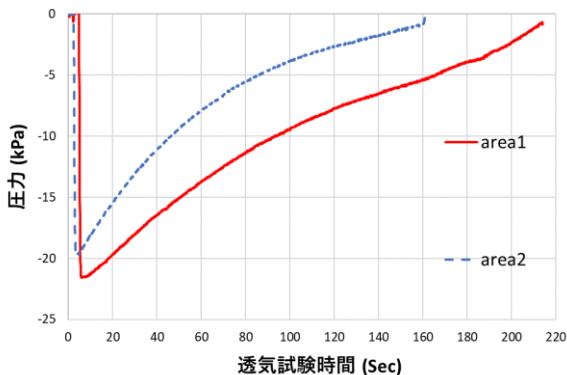


図-4 area 1～2 の現場透気試験結果

表-5 透気係数解析結果

試験項目	施工前	施工直後	施工後1年	施工後2年	施工後2年
試験箇所	-	-	-	area 1	area 2
きめ深さ (mm)	1.2～3.0	0.24	0.09	0.17	0.17
すべり抵抗値 BPN	-	63	-	-	-
透気係数 (cm/sec)	測定不能	$4.3 \times 10^{-7}$	$3.8 \times 10^{-7}$	$8.9 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-6}$

## 6 おわりに

本工法は従来工法よりも簡易かつ安全に施工できる常温工法である。浸透防水材がひび割れに充填することで雨水の浸透を抑制し、薄層表面

処理材により路面の平たん性を改善する。追跡調査によって施工 2 年後において十分な防水性能を有しており、浸透防水材および浸透防水モルタルによって既設コンクリート舗装が保護されていることが窺えた。今後も追跡調査を重ねていくとともに、当社として施工実績の拡充に努めていきたい。また塩分吸着型の浸透防水材を用いた浸透防水型薄層表面処理工法に関して今後室内試験や試験施工を行い新たな工法として確立を目指す予定である。

## 【参考文献】

- 1) 鋼構造委員会 道路橋床版の複合劣化に関する調査研究小委員会：道路橋床版の橋面コンクリート舗装，公益社団法人土木学会,2016.11

# 積雪寒冷地に対応したひび割れ抑制舗装技術

福田道路株式会社 技術研究所

○畠山 良二

日進化成株式会社 技術研究所

嶋田 修治

## 1 はじめに

温度応力ひび割れ（写真-1）は、気温が極度の低温になる箇所においてアスファルト混合物の温度変化に伴う伸縮によって発生するものである。ひび割れをそのまま放置すると、ひび割れ幅が経年で大きくなるとともに、新たにひび割れが発生した場合には、ひび割れ間の距離が短くなる。ひび割れに雨水等が浸入した場合、アスファルト舗装内部の滯水によりひび割れの伸展や層間はく離が生じて舗装が劣化する要因となる。

さらに劣化が路盤・路床まで進行した場合には、支持力低下や凍結融解等によりアスファルト舗装の構造的な破壊につながる危険性がある<sup>1)</sup>。また、ひび割れが多数発生した道路においては、車両の走行性が悪化し、緊急車両等の走行速度低下の要因の一つになる<sup>2)</sup>ことなどから、温度応力ひび割れの抑制対策は、これが多発する積雪寒冷地において重要な課題の一つとなっている<sup>1)</sup>。そこで、温度応力ひび割れの抑制対策として寒冷地に対応したひび割れ抑制舗装（以下、本技術）を開発した。本技術には低温における脆性や繰り返し変形への抵抗性の改善を図り、新たに開発した特殊改質アスファルトを使用している。ここでは評価に際して実施したアスファルトに対する室内試験およびアスファルト混合物を用いた室内試験結果について報告する。

## 2 特殊改質アスファルトの性状

本技術に用いる特殊改質アスファルト（以下、特殊改質）は、相反する硬さと柔軟性という特性



写真-1 温度応力ひび割れ

に対するアプローチとして、市販の改質アスファルト相当の耐流動性を確保しながら、低温域においても高いひび割れ抵抗性を有することを目標に開発された。特殊改質と一般的なポリマー改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）の代表性状を表-1に示す。特殊改質は針入度と軟化点が高く、より弾性的であるという特徴がある。また、フラーク脆化点はマイナス30°Cを下回り、低温域においても可撓性が高い。ダイナミックシアレオメーター試験（以下、DSR試験）によって求められる $|G^*| \sin \delta$ はアスファルトの粘弹性指標の一つである。これは疲労ひび割れ抵抗性と相関があり、値が低いほど疲労ひび割れ抵抗性に優れるとされる<sup>3) 4)</sup>。25°Cにおける特殊改質の $|G^*| \sin \delta$ は改質Ⅱ型の1/10以下であり、高いひび割れ抵抗性が期待できる。表-2にDSR試験条件を、図-1に温度と $|G^*| \sin \delta$ の関係を示す。試験温度が低くなるに従い、 $|G^*| \sin \delta$ は大きくなる。いずれの温度においても

ても、ストレートアスファルト 60/80（以下、ストアス 60/80）と改質 II 型の  $|G^*| \sin \delta$  は同程度の値を示したのに対し、特殊改質の値は低くなっている。また、5°Cにおける  $|G^*| \sin \delta$  を比較した場合、特殊改質はストアス 60/80 および改質 II 型の 1/10 以下であることから、低温域でも高いひび割れ抵抗性が期待される。

表-1 特殊改質の代表性状

試験項目	特殊改質	改質 II 型
針入度 (25°C) 1/10mm	97	58
軟化点 °C	94.0	62.0
フラーク 脆化点 °C	-36	-14
$ G^*  \sin \delta$ (25°C) $\times 10^5$ Pa	0.6	10.3

表-2 DSR 試験条件

項目	設定値
平行円盤直径	8mm
試料厚さ	1mm
ひずみ量	1.0%
角速度	10rad/s

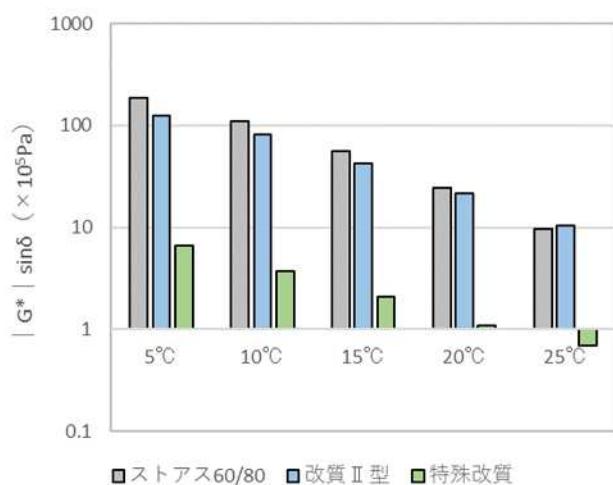


図-1 温度と  $|G^*| \sin \delta$  の関係

### 3 混合物性状

表-3 に実施した試験項目を示す。ベース配合は、密粒度アスファルト混合物 (13) とし、バインダに特殊改質を用いたものに対してストアス 60/80 あるいは改質 II 型を用いた混合物で比較した。

表-3 試験項目

試験名称	試験方法	目的
ホイールトラッキング試験	舗装調査・試験法便覧 B003	夏期の耐流動性
曲げ試験	舗装調査・試験法便覧 B005	低温性状
曲げ疲労試験	舗装調査・試験法便覧 B018T	繰り返し疲労抵抗性

#### 3.1 耐流動性の確認

アスファルト混合物の耐流動性を評価するホイールトラッキング試験の結果を図-2に示す。特殊改質の動的安定度（以下、DS）はストアス 60/80 の 10 倍以上であった。また、改質 II 型の 0.8 倍程度と若干小さいが、一般的に高 DS と評価される DS 値 6000 以上を示し、特殊改質は十分な耐流動性を有していると思われる。

#### 3.2 曲げ試験による低温性状の比較

曲げ試験で得た試験温度と曲げ強度の関係（以下、温度／曲げ強度曲線）を図-3に示す。脆化点は、温度／曲げ強度曲線の変曲点で示される、アスファルトが脆化する温度であり、その値が低いほど、低温性状に優れると言える。特殊改質の脆化点は、改質 II 型よりも 20°C 低い -15°C であったことから、改質 II 型より低温性状に優れと言える。

#### 図-4に試験温度と曲げひずみの関係を示す。3.3 繰り返し疲労抵抗性の確認

曲げひずみは載荷開始から破断までの変形量から算出され、値が大きい程たわみ性に優れ、屈曲時のひび割れが生じにくいと言える。 $-25^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ の間において、全ての温度で特殊改質の曲げひずみが大きく、改質II型より低温時にひび割れを生じにくいことが確認された。

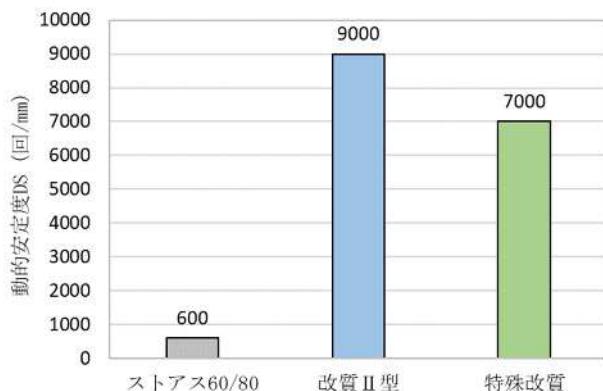


図-2 ホイールトラッキング試験結果

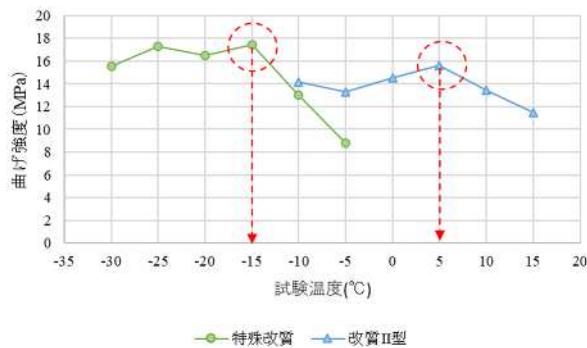


図-3 試験温度と曲げ強度の関係

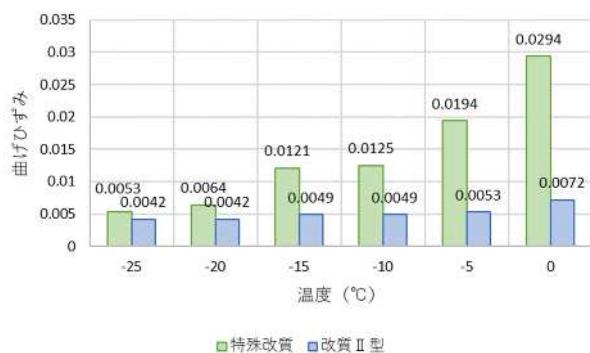


図-4 試験温度と曲げひずみの関係

曲げ疲労試験は繰り返し曲げひずみを加えた場合の疲労破壊に至るまでの回数を測定するもので、アスファルト混合物が繰り返し載荷を受けた場合の疲労抵抗性を評価する（写真-2）。破壊に至るまでの載荷回数が多いほど、繰り返し変形に対してひび割れしにくいと言える。表-4に曲げ疲労試験条件を、表-5に曲げ疲労試験結果を示す。ストアス 60/80 では 250 回程度、改質II型では 11,000 回程度で破壊したのに対し、特殊改質では 250 万回の載荷においても破壊しなかった。特殊改質の破壊回数はストアス 60/80 の 1 万倍以上、改質II型の 200 倍以上を示しており、低温域においても優れた曲げ疲労抵抗性を有することが確認された。



写真-2 曲げ疲労試験

表-4 曲げ疲労試験条件

項目	試験条件
ひずみ	$400 \mu\text{m}$
試験温度	$0^{\circ}\text{C}$
周波数	5Hz

表－5 曲げ疲労試験結果

アスファルトの種類	破壊回数（回）
ストアス 60/80	243
改質Ⅱ型	11,128
特殊改質	2,500,000 以上

#### 4. おわりに

寒冷地に対応したひび割れ抑制舗装は以下の特長を有する

- ・使用するアスファルトの特性により、広い温度域で弹性的な性状を示す
- ・DS は改質Ⅱ型の 0.8 倍程度であるが、十分な耐流動性を有する
- ・改質Ⅱ型と比較して脆化点が 20°C 程度低く、0°C 以下においても曲げひずみが大きい
- ・曲げ疲労破壊回数は改質Ⅱ型の 200 倍以上であり、繰り返し変形に対してひび割れしにくい

#### <参考文献>

- 1) 阿部隆二・岳本秀人・鈴木拓雄・木村清和・田口仁, 応力解放法によるアスファルト舗装の低温クラックに関する基礎研究, 土木学会舗装工学論文集第 9 卷, 2004.
- 2) 亀山修一・佐々木克典・郭慶煥・城本政一・川端伸一郎, 救急車搬送の観点からの舗装路面の評価, 土木学会舗装工学論文集第 24 卷, 2019.
- 3) 公益社団法人日本道路協会, 舗装調査・試験法便覧(平成 31 年版), 第 2 分冊, 2019.
- 4) David A Anderson, Development of SHRP Binder Specification, AAPT, Vol. 62, 1993.

# 大深度消雪井戸における、VP管による二重ケーシング施工のためのソケット開発

株式会社 興和 北陸支店 水工部係長 ○坂井 祐史  
北陸支店 水工部 小田 智也

## 1 はじめに

消融雪設備は、昭和 38 年頃から除雪対策が困難な市街地を中心に急速に普及し、冬期道路の交通確保に貢献してきたが、近年は老朽化による設備の改修や修繕が増加している。

VP 管の二重ケーシングは消融雪設備の井戸設備に不具合が発生した際の応急対策として広く実施されているが、深度 200 m 以上では VP 管接合部の強度が足りず、対応に苦慮していた。

本報告は、金沢河川国道事務所管内の消雪井戸修繕工事で、VP 管に合わせた SUS 製の接合部（ソケット）を開発することで、深度 350 m の消雪井戸に VP 管の二重ケーシングを適用し、井戸掘替をせずに不具合解消を図った事例を紹介する。

## 2 井戸設備の構造と二重ケーシング

### 2. 1 井戸設備の構造

井戸設備は、さく井工事で地中を削孔した穴の崩壊を防ぐケーシング管と、帯水層から取水するためのストレーナで構成されている（図 1）。古いものは鉄管が用いられているため、経年劣化で腐食などの不具合が生じると、井戸調査を行い、修繕方法を検討することになる。

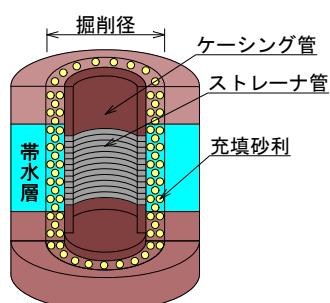


図 1 井戸構造の模式図

### 2. 2 井戸調査及び修繕方法

図 2 に井戸調査フローを示す。最初の簡易揚水試験では、井戸能力及び揚砂の確認を行う。井戸カメラ調査では、ケーシング管及びストレーナの腐食や目詰まりを確認し、井戸洗浄が可能であるか、修繕の必要があるかを判断する。

井戸カメラ調査では異常が無く、井戸洗浄を行う場合でも作業は慎重に行い、充填砂利などが洗浄中に確認された場合は直ちに洗浄を中止し、修繕の検討を行う。

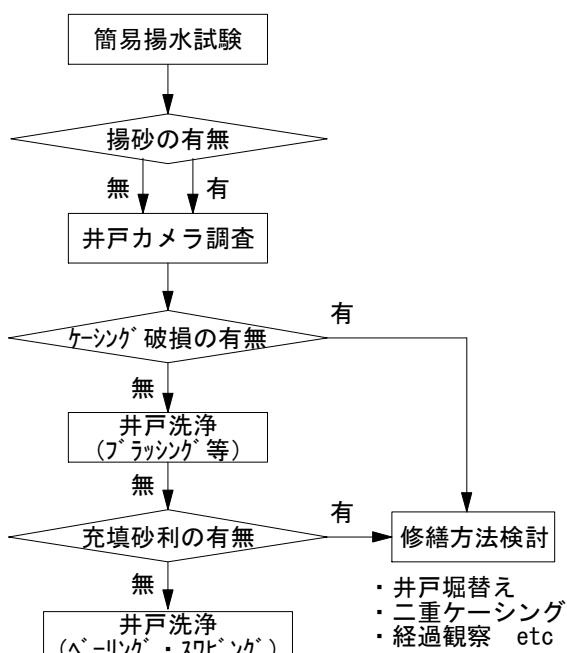


図 2 井戸調査フロー

### 2. 3 二重ケーシング

二重ケーシングは、井戸の応急対策として広く実施されており、その方法は既存のケーシング管の内側に新しいケーシング管を設置し、破損したケーシ

ング管を保護するものである。

一般的に二重ケーシングを実施すると、集水面積が減少し、揚水量が低下する。本来であれば、井戸の掘替えが望ましいが、降雪期までに施工が間に合わない、費用が多くかかるなどの理由から、掘替えよりも工期が短く、安価で応急対応が可能な二重ケーシングが修繕方法として採用されることがある。

図3に二重ケーシングのイメージ図を示す。

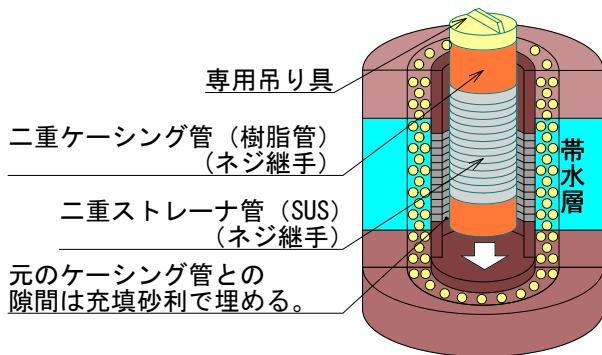


図3 二重ケーシングの模式図

## 2. 4 二重ケーシングの管材仕様

二重ケーシングで一般的に使用されている管材は、二重ケーシング管がVP-P（特殊ネジ接合）×3950Lで、二重ストレーナ管がSUS-V型巻線（特殊ネジ接合）×5500Lである。250Aでの重量はケーシング管が61.9kg/本、ストレーナ管が102kg/本であり、水圧による浮力が働くものの、深度が深くなるほど施工時の吊り上げ荷重が増加する。

## 3 本現場の井戸の特徴と課題

今回開発に至った現場は、井戸深度がGL-352.0m、元の井戸径がSGP300Aであり、二重ケーシング管はVPφ250、浮力を加味した二重ケーシングの想定吊り荷重は最大2.5tであった。

以前にGL-200m級の井戸（ストレーナが多く吊り荷重が比較的重い）で二重ケーシングを施工した際、ネジの破損があったため、本現場でもVPネジでは破損することが想定された。

そこで、深度200m以上の想定吊り荷重に耐えら

れるソケットを開発し、大深度井戸でもVP管で二重ケーシングを施工できる方法を検討した。

## 4 SUSソケットの開発

ソケットの開発にあたり、以前のVPネジの破損状況を確認した。VPネジは吊り荷重が重くなると凹ねじ部が広がり、ネジ山が破損することが確認された。破損したときの吊り荷重は、約1.8tであった。

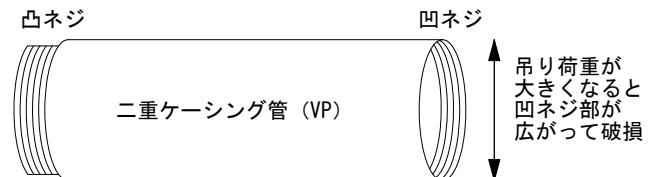


図4 従来の二重ケーシング管の模式図

そこで、広がりやすい凹ネジを全てSUS製とするために、両側凹ネジのSUSソケットを作成し、両側凸ネジのVPの二重ケーシング管と組み合わせることでネジ部の強度の向上を図った。

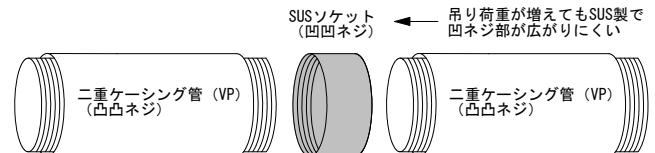


図5 SUSソケットの接続イメージ

試作したSUSソケットは、二重ケーシング建込時や、井戸洗浄などの維持管理に支障とならないよう、内径や外径に段差が生じない（引っ掛かりがない）、構造とすることに留意した。

## 5 SUSソケット荷重試験

### 5. 1 試験方法

試作したSUSソケットの上部と下部に凸ネジのケーシング供試体を接続し、供試体にバンドをかけ、10t油圧ジャッキ×2台で荷重をかけることで、二重ケーシング時の吊り荷重を再現した。

荷重は4.0t×2負荷、5.0t×2負荷、6.0t×2負荷の順で増加させた。

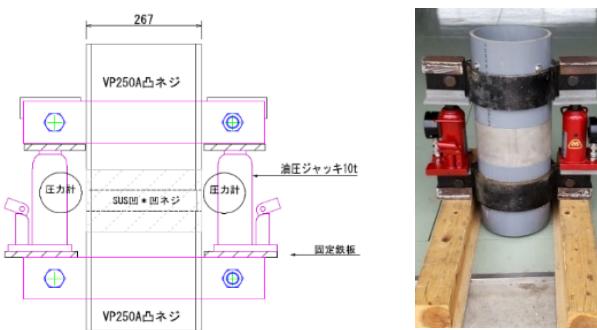


図 6 SUS ソケット荷重試験

## 5. 2 試験結果

6.0 t×2 負荷をかけても、SUS ソケットの凹ネジ及びSUS ソケットの上部と下部に接続したケーシング供試体の凸ネジに破損や変形は見られなかった。

6.0 t×2 負荷をかけた時点で、試験治具の異音と変形を確認したため、最大負荷を 6.0 t とした。



写真 1 試験後の VP 凸ネジ

## 6 二重ケーシングの施工

### 6. 1 ケーシング管の配置計画

図 7 に二重ケーシングの配置計画を示す。二重ケーシングはストレーナを既設井戸のストレーナ部と同じ位置に配置できるように考慮した。

二重ケーシングは一般的に、既設井戸の全長を施工するが、井戸径が小さくなることで、ポンプ規格を下げなければいけない（散水量の減少）場合もある。本報告の現場では散水量を減少することが出来ないため、井戸調査の結果に基づき、ポンプ下部までの二重ケーシングを実施することとした。これは、吊り荷重の増加を最小限に抑える効果や、SUS ソケットの費用を抑える効果もあった。

また、SUS ソケットの設置個所は以前の現場で VP

ネジが破損した可能性がある想定荷重約 1.8 t の GL-190.85 m からとした。

従来通りの VP 凹ネジ接合は全部で 17 箇所で、開発した SUS 凹ネジは想定吊り荷重 1.7 t ~2.5 t の 17 箇所として計画した。

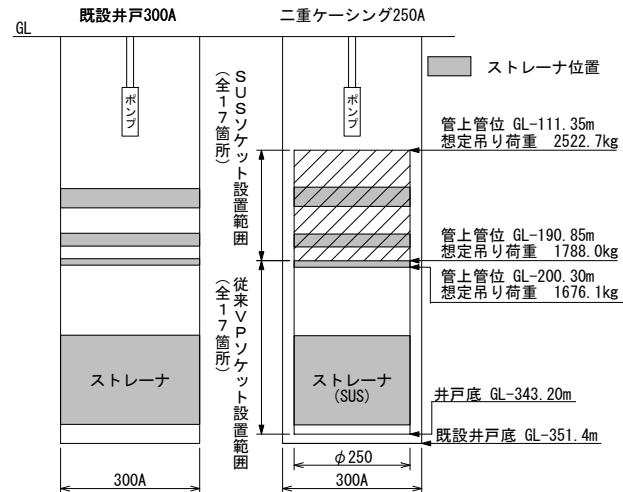


図 7 二重ケーシング管の配置計画

### 6. 2 二重ケーシング作業

図 8 に二重ケーシング管建込図を示す。二重ケーシング作業は二重ケーシング管頭部のネジに専用の吊り金具(図 3 参照)を取り付け、配置計画に基づきクレーンで挿入した。

今回は二重ケーシング管を水中ポンプ下部までとしているため、最上部の SUS ソケットのネジは逆ネジとし、ネジ切り用のロッドを継ぎ足しながら挿入した。所定の深度に到達したら、既設井戸と二重ケーシング管の空隙にろ過材の砂利を充填した。砂利の充填後、ロッドを正回転させることで、SUS ソケットと切り離し、ケーシング作業を完了した。



写真 2 二重ケーシング作業写真 (1)



写真 3 二重ケーシング作業状況 (2)

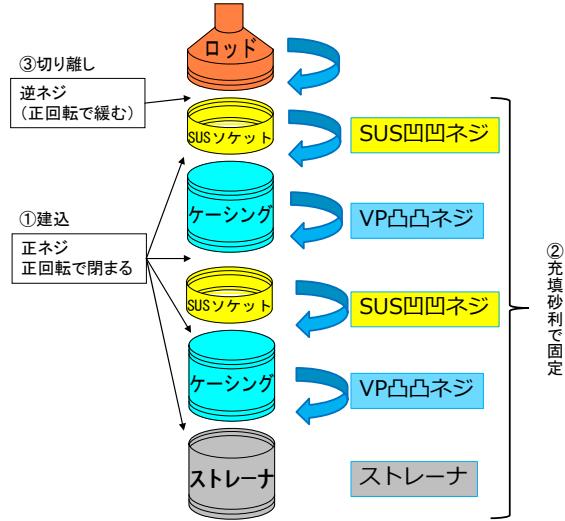


図 8 二重ケーシング建込図

### 6. 3 施工時の工夫

SUS ソケットはケーシング作業前に事前に取付ることで、部材が増えたことによる作業時間を増加させずに施工することができた。また、ケーシング建込作業時にネジが引っかかることなくスムーズに、そして、ケーシング管を破損させることなく施工することができた。



写真 4 SUS ソケット取付状況

### 7 おわりに

井戸深度約 350m の大深度消雪用井戸にこれまで実績のない VP 二重ケーシングを施工するため、想定吊り荷重に耐えられるように SUS ソケットを開発した。開発した SUS ソケットは、従来の施工方法の施工性や将来の維持管理性を損なわずに、ケーシングを破損させることなく、大深度消雪井戸に適用することができた。

消雪用井戸は近年老朽化が進んでおり、設備の改修や、修繕が増加傾向にある。今回開発した SUS ソケットが、特に大深度井戸の消雪設備の維持修繕に貢献するとを期待している。

### 謝辞

今回、SUS ソケットの開発にあたり、ケーシングメーカーのジオテクサービス株式会社様に多大なご協力を頂きました。厚く御礼申し上げます。また、本現場の提案・施工をご快諾いただいた、北陸地方整備局金沢河川国道事務所様に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 消融雪設備点検・整備ハンドブック編集委員会：消融雪設備点検・整備ハンドブック（平成30年7月）
- 2) 散水消雪施設設計施工維持管理マニュアル編集委員会：散水消雪施設設計施工維持管理マニュアル（平成20年8月）

# 改築推進であるベルリプレイス工法を用いた 水道管（ダクトタイル鉄管）への適用

真柄建設株式会社 土木事業本部 土木技術部 部長 上田 信二

## 1 はじめに

近年、様々な社会資本において、耐用年数を経過した管路は増加しており、今後加速度的に老朽化が進行していく見通しである。また、管路の老朽化に起因する道路陥没やライフライン分断も毎年発生している。このような時代背景のなか、持続的な機能確保やライフサイクルコストの低減が求められている。

この社会的ニーズに対応するために、新しい改築推進工法として、静的破碎推進工法元押式ベルリプレイス工法（以下 ベルリプレイス工法）を開発したので、以下に紹介する。

## 2 工法概要

### 2. 1 改築推進工法の分類

ベルリプレイス工法は、劣化した既設管（老朽管）を新管に布設替ができる改築推進工法のひとつである。（表-1）

表-1 改築推進工法の分類

推進工法名	方式		備考
静的破碎推進工法	牽引式	ロッド方式 チェーン方式	既設管を内側から拡張破碎し、新管を布設する推進工法
	元押式 (※ベルリプレイス工法)		
衝撃破碎推進工法	空力式		既設管の管端部に衝撃を加え破碎し、新管を布設替えする推進工法
	打撃式		
切削破碎推進工法	泥土圧式	圧送排土方式	既設管を切削破碎しながら新管を布設する推進工法
		吸引排土方式	
		スクリュ排土方式	
引抜推進工法	オーバガ式	スクリュ排土方式	
		一重ケーシング方式 (大口径ケーシング)	既設管を鋼管で抱き込みながら新管を布設する推進工法
		二重ケーシング方式	

※推進工法用設計積算要領「改築及び管敷設替改築推進工法編」  
(公社)日本推進技術協会(2020年4月1日発行)を参考に作成

### 2. 2 改築推進工法としての特長

ベルリプレイス工法は既設管を内側から拡径破碎しながら新管を布設する改築推進工法であり、工法の特長として以下の点が挙げられる。

- ① 施工スピードが早い
- ② 省力化できる（システムの簡略化による）
- ③ 周辺環境への影響が少ない
- ④ CO<sub>2</sub>排出量を削減できる
- ⑤ 廃棄物を発生させない

（図-1、図-2）

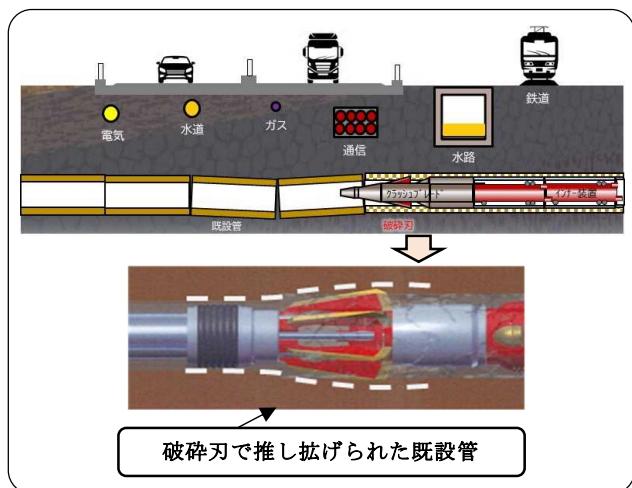


図-1 推進時の破碎イメージ

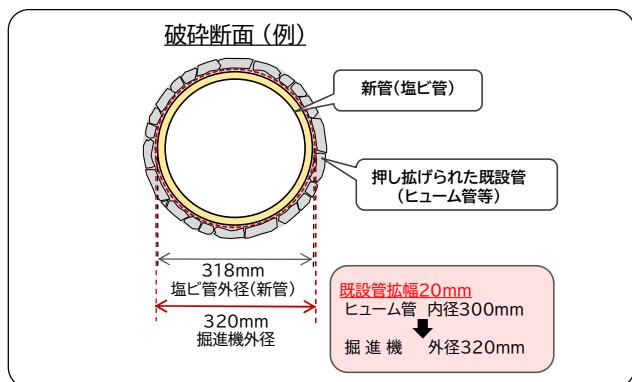


図-2 コンクリート管 呼び径 300 の場合 イメージ図

## 3 破碎機の種別

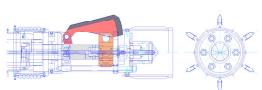
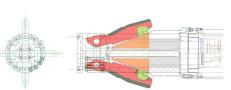
破碎機は、様々な施工条件に対応するために改良を進めている。

現在は、『止水装置を搭載し、地下水位に対応可能なパイロットタイプ』と『高い破碎力により多様な管種に対応が可能なクラッシュブ

レードタイプ』がある。今後も、施工条件に合わせ改善する。

(表－2) (写真－1)

表-2 ベルリプレイス工法 破碎機の仕様

型式	バイロットタイプ	クラッシュブレードタイプ
特許	特許第6479892	特許第7011244
呼び径	300	250～450 (※アタッチメント方式で対応)
破碎刃開閉方式	2点スクロール方式 (破碎刃：N=6枚)	楔(面受)スクロール方式 (破碎刃：N=4枚)
		
破碎能力	60t	150t
止水装置(地下水対策)	有(パイロット破碎機に装着)	無



破碎機(パイロットタイプ)



破碎機(クラッシュブレードタイプ)

写真-1 破碎機(タイプ別)

#### 4 施工概念図

本工法の概念図を図－3、図－4に示す。

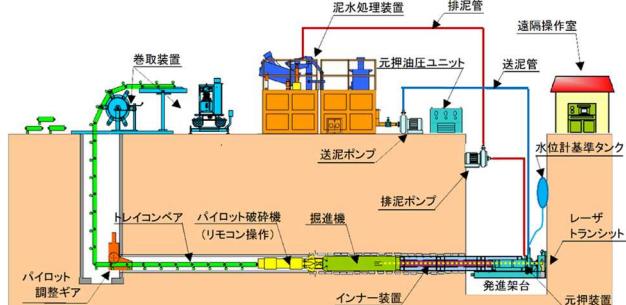


図-3 施工概念図(パイロットタイプ)

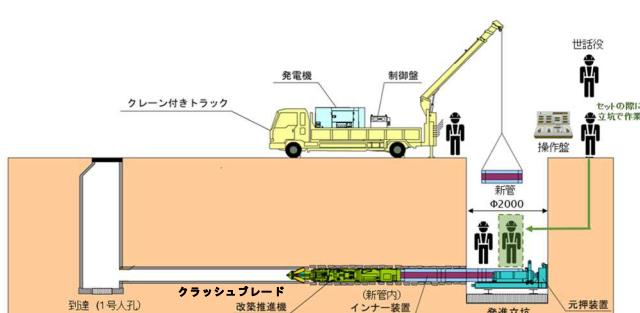


図-4 施工概念図(クラッシュブレードタイプ)

#### 5 適用管種・適用呼び径

クラッシュブレードタイプの適用管種・適用呼び径を表-3に示す。

表-3 適用管種・適用呼び径

適用管種	適用	今後の対応
	鉄筋コンクリート管(開削用・推進用) 硬質塩化ビニル管(開削用・推進用) 陶管 ダクトタイル鉄管(K形、N S形、G X形)	※各種継手にも対応予定
新管	硬質塩化ビニル管(推進用) 【さや管内】 ダクトタイル鉄管(K形、N S形、G X形) ポリエチレン管	※さや管方式にも対応予定
	250～450 (アタッチメント方式で対応)	※今後、対象管径を増やしていく
呼び径	11cm以下	—

#### 6 施工フロー

クラッシュブレードタイプの施工フロー

(例)を図-5に示す。

(施工フローは施工条件により適宜変更する)

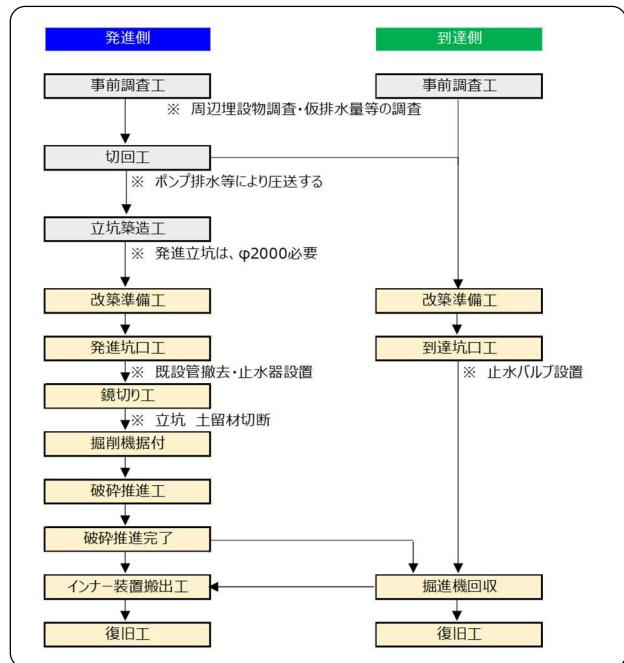


図-5 施工フロー例(クラッシュブレードタイプ)

#### 7 室内破碎試験

多様な管種の既設管に対応するために、これまで室内破碎試験による検証を実施している。また汎用性の高い鉄筋コンクリート管やダクトタイル鉄管(N S管・K形管)の効率的な破碎を可能にするために、破碎刃の形状や大きさ等の改良を進めている。(写真-2、写真-3)



写真-2 室内破碎試験（パイロットタイプ）

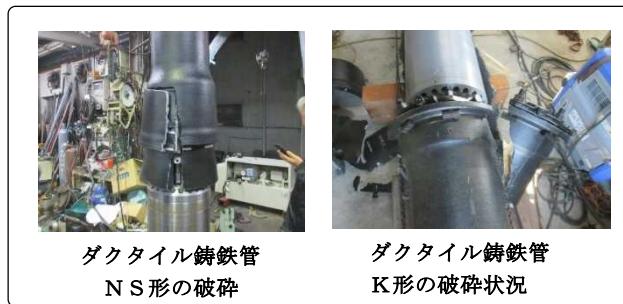


写真-3 室内破碎試験（クラッシュプレードタイプ）

特に、破碎が困難である継手部（鋼製T形カラー【推進管用】等）は、実施工で支障となる可能性が高いので、効率的に破碎できる手法を検討している。（写真-4）

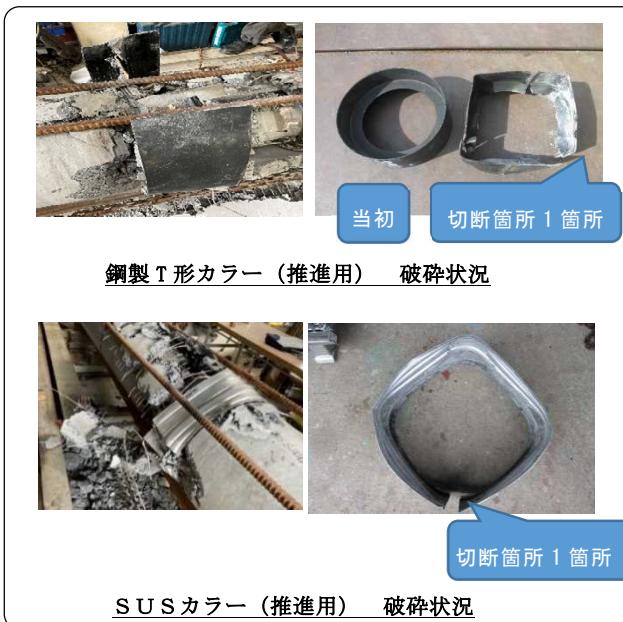


写真-4 室内破碎試験（クラッシュプレードタイプ）

## 8 地中実証実験

室内破碎実験の確認後は地中実証実験にて下記の項目を確認している。

- ① 施工速度(日進量)
- ② 地中での破碎状況

### 8. 1 地中実証実験（2018年度）

鉄筋コンクリート管・硬質塩化ビニル管の既設管を新管に布設替えする地中実証実験を行ったところ、掘進速度180mm／分（平均）で、問題なく施工を確認することができた。

（写真-5、写真-6）



写真-5 鉄筋コンクリート管 破碎状況（全景）

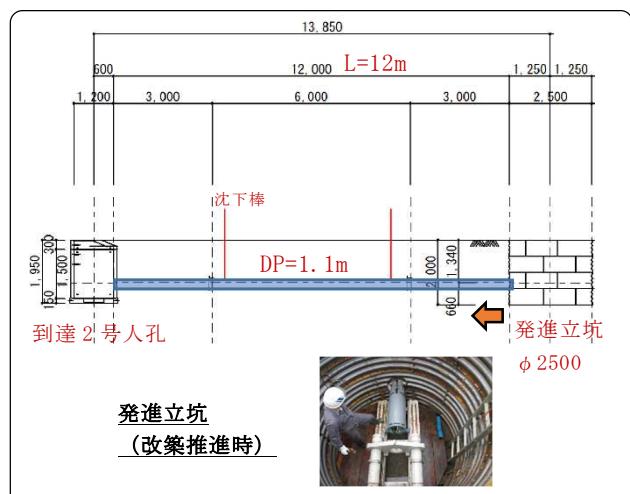


写真-6 硬質塩化ビニル管 破碎状況（全景）

### 8. 2 地中実証実験（2020年度）

ダクトタイル鉄管（Φ300K形）の既設管を新管に布設替する改築推進（延長12m、土被り1.1m）の地中破碎実験を行った。

（図-6）



継手部を含め問題なく破碎できることができた。破碎後の状況を確認したところ、短冊状に4分割に破碎分断されていた。

(写真-7、写真-8)



写真-7 ダクタイル鉄管（K形）破碎状況



写真-8 短冊状に分割されたダクタイル鉄管

改築推進工法における施工実績の大半は、下水道部門であり、これまで下水道部門を中心に開発を進めてきた。しかし、今回の地中実証実験において、ダクタイル鉄管の破碎ができたことにより、様々な管種への対応が可能となった。特に水道管は、ダクタイル鉄管が50%以上を占めるため、水道更新工事への活用に向けて開発を進めていく。

## 9 当工法の活用・検討事例

開削工法ではできない施工条件では、下水道部門を中心に、管更生工法での対応が主流となっており、改築推進工事は特殊な条件下でしか採用されないのが現状である。

しかし、社会資本整備の進んだ我が国においては、特殊条件下での案件が増えていくことが予想される。その中でも、以下の項目について、今後ニーズが高まることが想定されるため、対応できる手段を検討していく。

- ①埋設管が支障→開削施工できない場合
- ②既設管が深い→開削施工できない場合
- ③別ルートでの新設管が設置できない場合

## ④河川・鉄道横断部での施工の場合

## 10 今後の開発について

ベルリプレイス工法は、様々な条件に対応するため、管路施設管理者（特に水道部門）からの意見や要望を取り入れながら、下記項目について開発の検討を進めている。

- ①適用管径のサイズアップ（ダウン）

【既設管と異なる管径の新管布設】

- ②様々な適用管種の対応

【破碎刃形状（管種毎）の検討】

- ③条件変更対応用アタッチメントの開発

【同一機械での汎用性拡大】

## 11 おわりに

我が国の社会資本においては財政問題等から補修・補強による延命化を中心に進められているが、同時に防災・減災を想定した長寿命化（耐震化等）も検討されている。現状のベルリプレイス工法は、既設管を地中に存置するため、廃棄物処理法の概念において施設管理者の理解を受け難いことが多い。

しかし、一方で、2050年のカーボンニュートラル・脱炭素社会の実現や省エネルギー化（CO<sub>2</sub>排出量削減等）が求められており、管路の更新が喫緊の課題として捉えられ、当工法が選定基準のひとつとして検討が求められる機会があると考える。

また、ダクタイル鉄管の地中破碎が実現できたので、水道部門における唯一の改築推進工法を目指して開発を進めていきたい。

このような時代背景のなか、変化する社会的ニーズを捉え、当工法の強みを生かして改良を重ねることで、今後の管路の維持更新に尽力していきたいと考える。

以上

### ③ 雪に強い地域づくり

# スタック車両における『緊急脱出用具』の試行導入に向けた、フィールド試験結果の報告

国土交通省 北陸地方整備局 北陸雪害対策技術センター  
雪害防災減災課 後藤 大地

## 1 はじめに

近年、大雪による大規模な車両滞留が発生し、通行再開や滞留車両の救出に数日間を要するケースが多く発している。国土交通省道路局が設置した冬期道路交通確保対策検討委員会による『大雪時の道路交通確保対策中間とりまとめ(2021年3月改訂)』において、ドライバーに対し冬用タイヤやチェーンの装着を徹底すべきとの提言がなされている。

このような背景のもと、引き続きドライバーに対して冬用タイヤ・チェーンを装着した走行を強く呼びかける一方で、除雪作業の支障となるスタック車両を早急に移動させる手段として、ある。

国土交通省道路局と北陸地方整備局は、2022年10月12日にスタック車両における『緊急脱出用具』の募集を記者発表した。

北陸技術事務所には、全国的な雪害対策の研究や開発を進め、成果や知見を情報発信する北陸雪害対策技術センターが設置されている。当センターでは、応募のあった各社の緊急脱出用具について、2023年2月21日～22日にフィールド試験を実施し、応募時のカタログデータや試験結果から、緊急脱出用具としての性能を確認した。その後、応募用具一覧及び個表のとりまとめを行った。

本稿では、スタック車両における『緊急脱出用具』のフィールド試験結果等を報告するものである。

なお、この試験は、企業や製品の技術を認定や推奨するためのものではない。

表-1 緊急脱出用具の応募用具一覧

用具	A社	B社	C社	D社
種類	布製タイヤカバー	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン
写真				
用具	E社	F社	G社	
種類	布製タイヤカバー	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン	
写真				

## 2 応募用具一覧

『緊急脱出用具』を募集した結果、表-1に示す7種類の用具の応募があり、それらについてフィールド試験を実施した。このうち、製品化されているものは6種類、現在開発中のものは1種類である。

応募用具を種類別に分類すると、ホイールの穴を利用して金属製のチェーン等を装着するワンタッチチェーンタイプが5種類、布製のカバーをタイヤに被せて装着する布製タイヤカバータイプが2種類である。

## 3 フィールド試験の実施

### 3. 1 試験場所

フィールド試験は、図-1に示す国道49号の野村待避場（新潟県東蒲原郡阿賀町野村地先）において、国道からの出入り口を封鎖し、一般車両が流入しない状況下で実施した。（写真-1）



図 1-1 フィールド試験場所

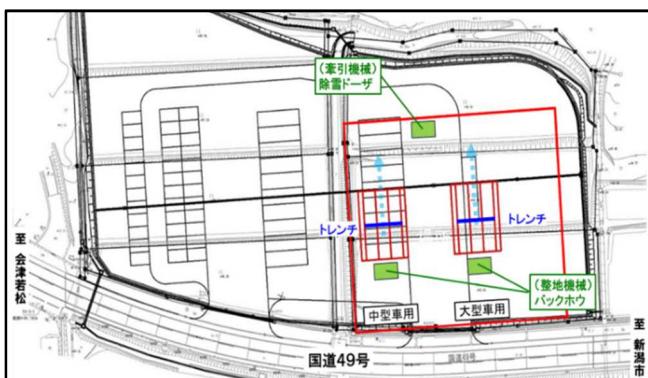


図 1-2 フィールド試験場所



写真-1 フィールド試験場所

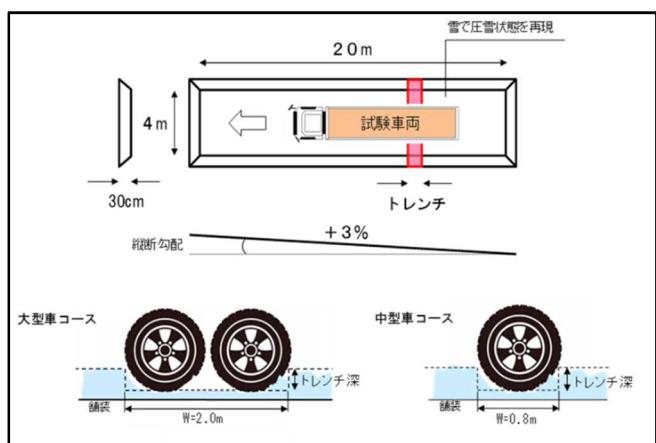


図-2 試験コース概略図とトレンチの構造

### 3. 2 試験条件

試験コースは、縦断勾配+3%のフィールドに、図-2のようなトレンチ（溝）を作成した。トレンチの深さは5cm、10cm、15cmの3パターンを設定した。

作成したコースのトレンチ（溝）に駆動輪を落とし込み、タイヤが空転したスタック状態を再現して、脱出を試みる試験を実施した。

試験車両は写真-2に示す、立ち往生発生頻度の高い大型トラックと中型トラックを手配した。

また、試験車両はスタッドレスタイヤを装着し、後輪にトラクションが掛からず空転しやすい様に、空荷の状態で試験を実施した。試験車両の運転は、用具を応募した各社にて運転手を手配して実施した。



写真-2 試験車両

### 3. 3 試験内容

フィールド試験では、スタック車両に対して、緊急脱出用具の装着時間、脱出可否等を調査した。(写真-3)

装着時間は、スタック車両のドライバーに対して、緊急脱出用具を渡した時間を開始とし、緊急脱出用具の装着が完了するまでの時間を計測した。



写真-3 フィールド試験状況

脱出可否は、設定したトレンチ深さに対して、緊急脱出用具を装着した状態で脱出の可否を確認するとともに、脱出に要した時間を計測した。

なお、各社の試験実施前に、気温、路面温度、圧雪硬度、雪質等についても測定した。

### 4 フィールド試験の結果

確認項目は、試験当日の気象状況や、試験車両の詳細、トレンチの硬度・深さ・幅の実測値、用具装着時間、脱出可否等とし、確認項目の詳細は、図-3に示す調査表のとおりである。

試験月日		試験時間		~	応募者		
用具名		品番			装着個数/輪		
天気		気温			積雪温度		
車両種別		車両重量 (車両総重量)			タイヤサイズ*		
<b>総断勾配</b>							
トレンチ	設定値	<b>雪質</b>			<b>雪質</b>		
	硬度	R/C/L		平均	R/C/L		平均
測定値	実深さ	右側	左側	平均	右側	左側	平均
	幅	右側	左側	平均	右側	左側	平均
用具装着時間	分		秒	分		秒	
	状況	問題なし		工夫が必要	問題なし		工夫が必要
工夫内容	時間		分	秒	時間	分	秒
	脱出可否	成功		失敗	成功		失敗
特記事項							

図-3 フィールド試験調査表

フィールド試験における脱出可否一覧表を表-2に示す。

表-2 緊急脱出用具の脱出可否一覧

凡例 ○：脱出成功 ×：脱出失敗 -：未実施

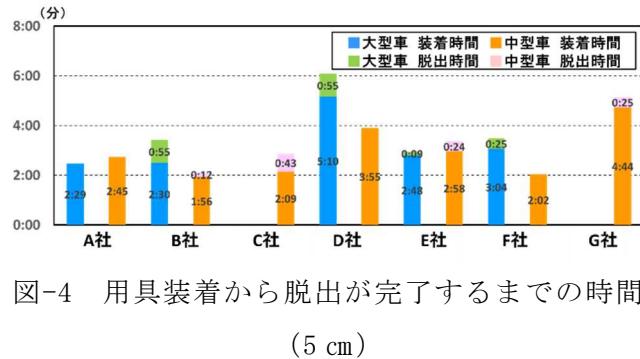
用具		A社	B社	C社	D社	E社	F社	G社
種類		布製タイヤカバー	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン	布製タイヤカバー	ワンタッチチェーン	ワンタッチチェーン
写真								
脱出可否	大型車	5cm	×	○	-	○	○	○
	10cm		×	○	○	×	○	×
	15cm		-	○	×	-	-	×
中型車	5cm	×	○	○	×	○	×	-
	10cm		-	×	×	○	-	○
	15cm		-	-	-	○	-	×

5 cmのトレーニングにおいて、脱出ができた用具は14事例中8事例であり、10 cmの場合は6事例、15 cmの場合は2事例であった。

用具装着による脱出の可否は、路面状況、運転手の技量（雪道への慣れ）により変化するが、半数以上の事例で10 cm以上は脱出できないという結果となり、圧雪による凹凸が5cmを超えると、緊急脱出用具を用いても脱出が困難になることが分かった。

トレーニング深さ5 cmにおける、用具装着から脱出が完了するまでの時間についてまとめたグラフを図-4に示す。ただし、C社とG社の大型車については、応募者の意向により、10 cmから試験を開始したため、データは省いている。

用具装着から脱出に要する平均時間は、約3分30秒であった。用具装着時間の平均は約3分、脱出に要する平均時間は約30秒であった。



各社が脱出できた最大深さにおいての、用具装着から脱出が完了するまでの時間をまとめたグラフを図-5に示す。

用具装着から脱出に要する平均時間は、約4分であり、最短で2分、最長でも6分程度で脱出するという結果となった。用具装着時間の平均は約3分、脱出に要する平均時間は約1分であった。

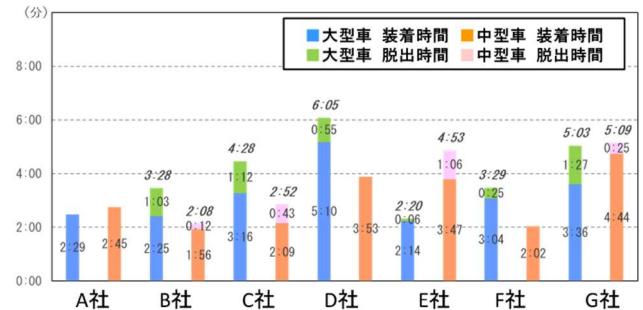


図-5 用具装着から脱出が完了するまでの時間  
(5~15 cmのうち最大の脱出トレーニング深さ)

なお、確認結果については、北陸地方整備局北陸技術事務所ホームページに公表した。

また、試験映像については、北陸技術事務所YouTubeチャンネルに公開した。

## 5まとめ

今回のフィールド試験では、用具タイプに差があるものの、用具装着から脱出が完了するまでの時間は、最長でも6分程度であり、立ち往生の早期解消が期待されることが分かった。

本試験は、現道ではない試験フィールドで行ったものであり、気象条件や道路状況、運転手の技量（雪道への慣れ）によって、脱出の可否と脱出時間は変化する。

また、本試験は、一定の条件下における結果であることから、すべての条件下による緊急脱出用具の性能を確約するものではない。

『緊急脱出用具』について、今回の結果を踏まえ、直轄国道では引き続き現場での活用を図ることとしており、除雪作業の支障となるスタッフ車両の速やかな移動に向けた取り組みを進めしていく。

# 凍結抑制型音響道路-メロディザペックについて-

世紀東急工業(株) 技術部 建設 DX グループ 柳沼 伶奈

## 1. はじめに

新型コロナウイルスの5類移行に伴い、観光地では、国内旅行者の集客や、急増するインバウンドの囲い込みが課題となっている。また、観光地は自然の多い所にあることが多いが、気温の低い山間部も多く、観光地の近くで冬期路面におけるスリップ事故の抑止や走行安全性の向上を目的とした凍結抑制舗装が施工されることも多い。また、山間部の道路は急傾斜や道路線形が悪く、注意喚起が必要とされている場所も多いのが現状である。

本文では、観光名所として有名な山形県山形市の「山寺」へ向かう市道での試験施工、および栃木県日光市の第一いろは坂終点付近の国道で、公共工事では初めてとなる凍結抑制型音響道路(以下、メロディザペック)の施工を行い、音響や安全性の検証を行った結果を報告する。

## 2. 技術概要

メロディザペックは、音響道路と、筆者らが開発したグルービング充填型の凍結抑制舗装を組み合わせることで、凍結抑制機能を付加した凍結抑制型音響道路<sup>1)</sup>である。

### 2-1. 音響道路

車両走行時に音響道路から音が出る仕組みを図-1に示す。音響道路は一定間隔の連続した横溝を車両が通行した際に、一定の周波数、つまり一定の音程の音が発生する仕組みを利用している。この溝の間隔を短くすると高い音、長くすると低い音になるため、音階を作ることができる。この音階と、溝の無い休符(平ゾーン)の区間を組み合わせることで、

曲を奏でることが可能となる。また、横溝の間隔は音階によって44mm~100mm程度で設定し、深さは5mmが標準である。



図-1 音の出る仕組み

### 2-2. 凍結抑制舗装

凍結抑制舗装は冬期の路面凍結を抑制し、スリップ事故の防止が期待できる技術である。本工法に応用した凍結抑制舗装は、舗装路面に施工したグルービング(溝)に、ゴムチップと凍結防止剤等をウレタン樹脂で固めた「凍結抑制材」を充填したものである。そのため、ゴムチップの弾力による物理的な凍結抑制機能、凍結防止剤による化学的な凍結抑制機能を付与することができる。図-2に凍結抑制舗装の概要図を示す。なお、溝の深さは10mmが標準である。

### 施工の詳細図(横断方向の場合)

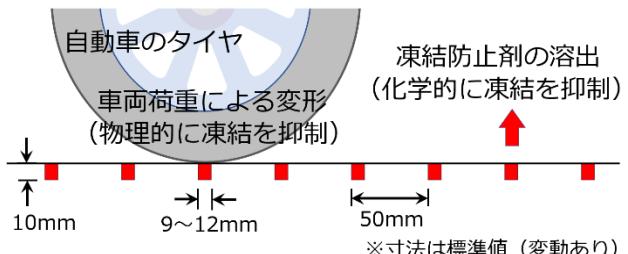


図-2 凍結抑制舗装の概要図

## 2-3. メロディザペック

### (1) 溝の深さ

メロディザペックは前述した2技術の複合型である。凍結抑制舗装の物理効果は、たわみ特性により氷板を割るが、寒冷地の路面は除雪作業で削れたり、冬期のタイヤチェーンによっても摩耗するため、溝の深さは10mmとした。

### (2) 凍結抑制材の充填による音圧の低下

開発当初は凍結抑制を充填することで、音圧が低下してメロディが聴こえづらくなることも想定したが、室内試験で凍結抑制材の有無に音圧の変化はほとんど無い<sup>1)</sup>ことを確認している。

## 3. 施工

施工場所と施工延長および音響の聴こえる時間を表-1に示す。地域にゆかりの深い曲を選定し、観光地のPR、地域活性化を目的に発注者が曲を選定したが、山形県山形市は「花笠音頭」、栃木県日光土木事務所(いろは坂)は、付近にも多く生息する日本猿や日光東照宮の三猿にちなみ、国外でも認知度の高いゴダイゴの「モンキーマジック」が採用された。また、グルービングの間隔等は法定速度と曲の聴こえる時間、および施工延長により設計するが、曲として認識されるためには、10秒以上が必要である。設計した速度で走行しないと心地よい音階に聴こえないため、法定速度に誘導する効果もある。

表-1 走行速度と施工延長および聴こえる時間

場所	施工時期	法定速度(km/h)	施工延長(m)	音響の時間(秒)
山形県	2022.10	50	230	17
栃木県	2023.4	40	200	18

### 3-1. 母体アスファルト舗装の施工

路面切削機により既設表層を切削し、改質密

粒度アスファルト混合物による一般的な切削オーバーレイ工を行う。施工状況を写真-1に示す。



写真-1 舗設状況

### 3-2. 音響グルービングの施工

音響グルービング工では、1つの音ごとにグルービングの間隔を変え、乾式グルーバーにより施工を行う。施工状況を写真-2に示す。



写真-2 音響グルービング切削状況

### 3-3. 凍結抑制材充填の施工

現場で製造した凍結抑制材をレーキにより充填する。充填状況を写真-3に示す。



写真-3 充填作業状況

### 3-4. 養生・交通開放

養生材を撤去し、一定時間養生したのちに交通開放となる（写真-4 および写真-5）。



写真-4 完成（山形県山形市）

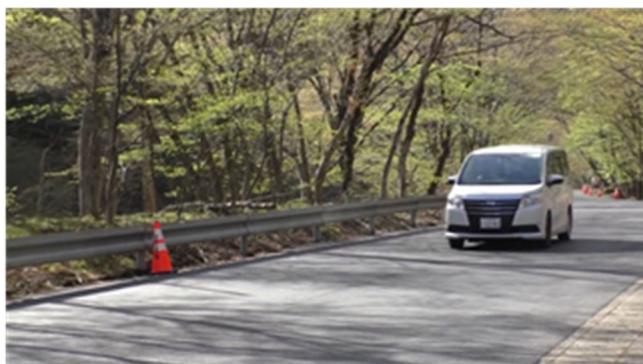


写真-5 完成（栃木県日光市）

## 4. メロディザペックの効果

### 4-1. 走行中の車内における音響の聴こえ方

音響グルーピング工完了後、筆者が施工箇所を一般車両で一定速度において走行したところ、曲ははっきりと聴き取れることができた。

音の聴こえ方の例として、栃木県国土整備部技術管理課で監修している「栃木県国土ちゃんねる」<sup>2)</sup>に紹介されている走行音の QR コードを図-3 に示す。



【公式】いろは坂の音が出る道路を走ってみた！～走行編～@日光市 第一いろは坂  
6153回視聴・3か月前



【県内初！！】音が出る道路！？作ってみた！～施工編～@日光市 第一いろは坂  
3299回視聴・3か月前



図-3 走行音（いろは坂）

### 4-2. 通行車両の速度低減効果

メロディザペックは、メロディによる注意喚起だけでなく、一定速度で走ることによりメロディが聴きやすくなり、速度超過車両の速度低減が期待できる。施工前後に通行車両の速度について調査を行った。山形市道および栃木県の国道の調査結果を表-2 および表-3 に示す。山形市は約▲16%、日光市は約▲23%と速度超過車両が減少し、事故防止に寄与できる安全対策の効果を確認できた（図-4）。

表-2 通行車両の速度低減効果（山形市道）

	施工前(2022.9.21)	施工後(2022.11.8)
調査全台数(台)	600	627
50km/h以上台数(台)	345	262
割合(%)	57.5	41.8
効果(%)		▲15.7

表-3 通行車両の速度低減効果（栃木の国道）

	施工前(2023.3.31)	施工後(2023.5.24)
調査全台数(台)	192	108
40km/h以上台数(台)	172	72
割合(%)	89.6	66.7
効果(%)		▲22.9

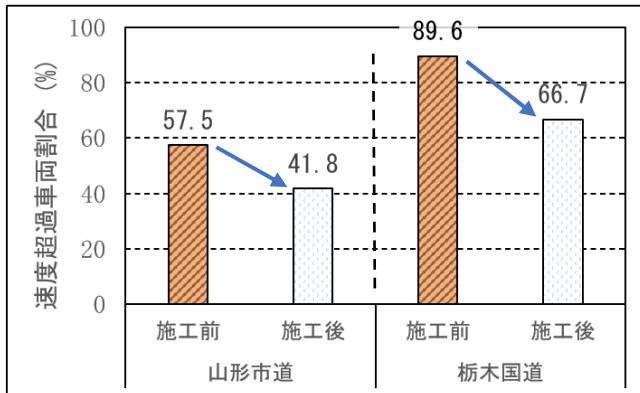


図-4 速度超過車両割合

#### 4-3. 凍結抑制効果

山形市道の施工箇所で、積雪時の凍結抑制効果について目視観察を行った。

日時：2023年1月25日(水)6:30～8:00

気温：-5°C

目視観察状況を写真-6に示す。当該地域は豪雪地帯ではないが、目視観察当日は記録的寒波により、前日深夜より降雪があった。しかしながら、メロディザペックの施工箇所においては一定の路面露出が確認できた。



写真-6 積雪時路面状況

#### 4-4. 観光地の町おこしとしての効果

道路管理者より、施工後の現場を見ると、工区の手前でブレーキングをして「音楽を聴くために法定速度で走行する車両が増えた」という意見が多くあった。

国内では地元新聞やテレビなどの各種メディ

アに取り上げられたこと、および道路管理者のPR活動により話題となつた。

#### 5.まとめ

- ①全国的に有名な観光名所2か所においてメロディザペックを施工し、各種検証を行い、音響による速度抑制効果および積雪時の凍結抑制効果を確認することが出来た。
- ②公共工事発注の凍結抑制型音響道路「メロディザペック」として全国で初めていろは坂で施工された。
- ③地域に愛される曲を奏でる道路として、今後の国内外の集客に期待ができる。

#### 6.おわりに

国内および訪日外国人旅行者数が新型コロナ流行以前の水準に戻りつつある中、本工法が国内外の旅行者の話題となって、観光資源の活性化に繋がることに期待したい。

今回の施工にあたり、現場の提供他多大なるご協力いただきました山形市役所および栃木県日光土木事務所の皆様への感謝の意をここに記します。

#### 【参考文献】

- 1) 藤田ほか：音響付加型凍結抑制舗装工法の開発、第14回北陸道路舗装会議技術論文集、o04-05、2018.5
- 2) 栃木県県土整備部：栃木県県土ちゃんねる、  
<https://www.youtube.com/watch?v=rBSDhWEe8vE>

## ④ 自然災害からの安全確保

# 両津港の定期航路安定を目指した耐震改良設計

新潟港湾空港技術調査事務所

設計室 先任建設管理官 藤井 武

設計室 施工技術係長 ○八木 一樹

## 1 はじめに

両津港(湊地区)岸壁(水深 7.5m)（以下「4号岸壁」という）は、供用後約40年以上が経過し、老朽化が進んでいることに加え、港湾計画上、大規模地震発生時に緊急物資輸送等の拠点となる耐震強化岸壁に位置付けられている。

本稿は、定期航路フェリーが利用する供用中の岸壁において、耐震改良施工時の影響に配慮しつつ、レベル2地震動の影響後も定期航路が利用する施設として機能させるための検討を行った耐震改良設計について報告するものである。

## 2 設計条件

### 2. 1 既存施設の状況・構造

4号岸壁は、供用から40年以上経過し、2015年に実施した点検では、主要部材である鋼材の貫通孔が確認され緊急的な補修を行うなど、施設の老朽化が顕在化し、抜本対策が必要な状態である。（図-1 参照）



図-1 設計対象施設位置 (4号岸壁)

4号岸壁の区間割を図-2に示す。また既設構造は図-3に示すように桟橋式構造である。

元付部の土留めは矢板式、重力式が混在し、背後に近接してフェリーターミナルや、渡船橋等の付帯施設が設置され、先端部は土留めが無い。

設計区間は元付部 123m、先端部 52m であり、可動橋 23m の設計は今後行う予定である。

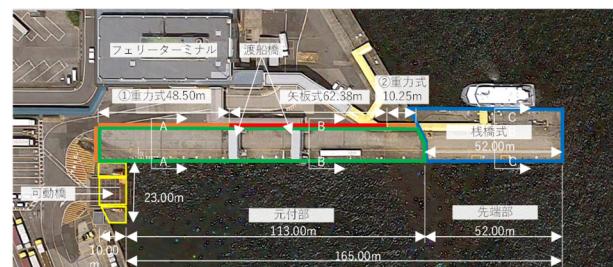
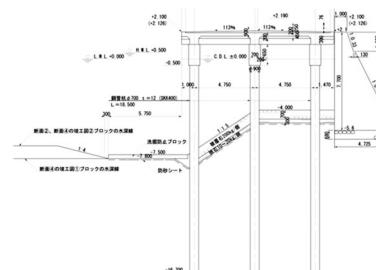
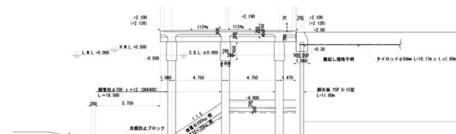


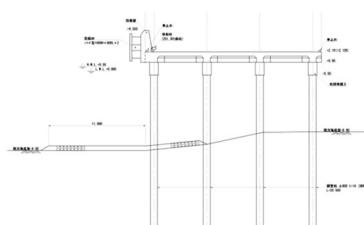
図-2 設計対象区間



A-A断面 (重力式土留め)



B-B断面 (矢板式土留め)



C-C断面 (土留め無し)

図-3 既設断面図

## 2. 2 設計条件及び性能規定値

4号岸壁を利用する対象船舶は、カーフェリーと緊急時の物資輸送を行う自衛隊の支援船とした。また、緊急時にはジェットフォイルの係留も想定する。レベル2地震動は、想定し得る最大級の地震動として「新潟県南西沖地震」、「M6.5直下型地震」を比較検討し安全側となる地震動により安定性照査を実施した。

改良設計における課題を以下に示す、

- a) 毎日、新潟港と両津港を結ぶ定期航路が利用しており、運航体制への影響を最小限とする必要がある。
- b) 既設岸壁の部材を再利用できるかを検討するとともに、岸壁背後のフェリーターミナルや渡船橋等の既設構造物への配慮が必要となる。
- c) 新潟県が岸壁背後の埋立を行うため、構造形式の調整が必要である。



図－4 港湾計画図と課題

性能規定は、レベル2地震発生後に、緊急物資輸送の荷役のみならず、カーフェリーが速やかに就航する必要があるため、フェリーの接岸・荷役可能な規定値を設定した。特に可動橋との接続が重要となるため、クリアランスを確認したうえで、許容される変位量を規定し設計の目標値とした。主な設計条件と性能規定値を表-1に示す。

表－1 設計条件及び性能条件

設計条件	適用基準	港湾の施設の技術上の基準・同解説(2018年5月)
	計画水深	C.D.L. -7.50m
	天端高	C.D.L. +2.10m
	エプロン	幅員:20.0m 勾配:1/100(海側へ片勾配)
	対象船舶	カーフェリー(佐渡汽船) ジェットフォイル(佐渡汽船) 多用途支援艦(海上自衛隊)
	耐震強化施設分類	「特定(緊急物資輸送対応)」、「特定(幹線貨物輸送対応)」
性能規定値	L1地震動	対象波形 : 9304『両津港』(照査用震度 : kh=0.17)
	L2地震動	「新潟県南西沖地震」及び「M6.5直下型地震」
	水平変位量	50cm以内
性能規定値	岸壁の法線の出入り	断面間の相対変位量50cm以内
	堤体傾斜角	3°以内
	桟橋の沈下	20cm以内
	桟橋部と背後地の段差	30cm以内

## 3 岸壁構造形式の検討

### 3. 1 元付部の構造形式

供用への影響を最小限とする観点から、既設構造物を補強する改良方法として有効と考えられる3案と新設する案の下記①～④を抽出し構造形式の1次選定を行った。

- ・案①上部工、桟橋杭を残置した「水中梁工法」
- ・案②桟橋杭を補強する「RC巻き立て工法」
- ・案③桟橋杭を増設する「増杭工法」
- ・案④上部工・桟橋杭を新設する「新設桟橋式」

案①②は、既設構造を活かす工法であるものの、現地での施工期間が長く、工費も安価にはならなかった。案③も既設桟橋杭を残置しながらの改良となり、増杭の施工性が悪く優位ではなかった。

施工性、経済性、維持管理等の総合的な比較を行った結果、新設する案④の「新設桟橋式」を採用した。

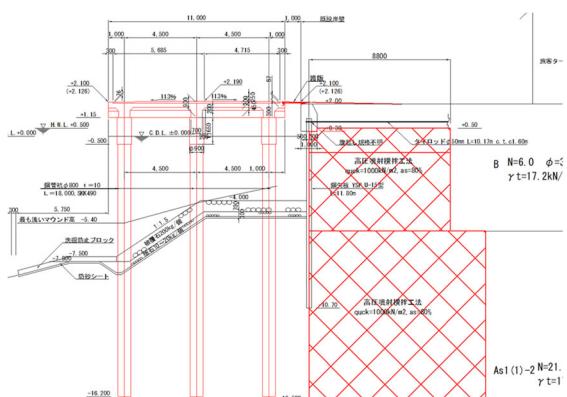
なお、重力式構造については、床掘が必要となり背後土留めやターミナルにも影響することから採用は困難と判断した。

また、既設土留め部の耐震改良は背後ターミナルへの影響が少ない高圧噴射攪拌工法による固化改良を採用している。

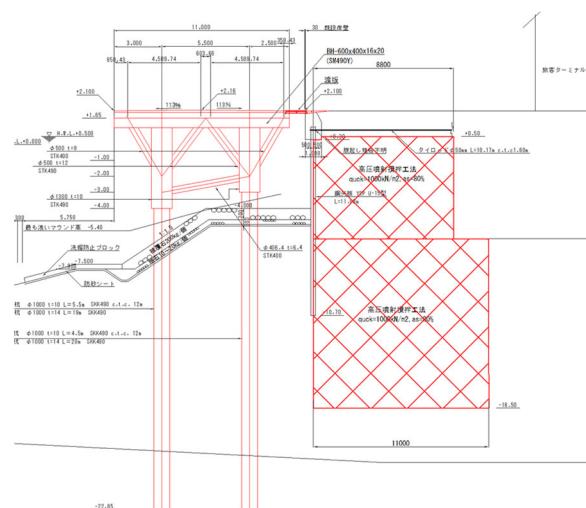
次に一般的な RC 桟橋の場合、着手から供用再開まで期間を要すことから現地施工期間の短縮を図るために、2 次選定として「RC 桟橋」と「ジャケット式栈橋」の比較検討を行った。

「ジャケット式栈橋」は、ジャケット部を工場製作することやプレキャスト部材が多いことから、現地作業を 12 ヶ月程度短縮することが可能となる。また、4 号岸壁は冬期にカーフェリーが着岸できるように单年度の施工期間も限られ、現地作業の省力化は施工性や供用への影響において優位である。

以上のことから「ジャケット式栈橋」を選定した。図-5 に比較断面図を示す。



RC 桟橋断面図



ジャケット式栈橋断面図

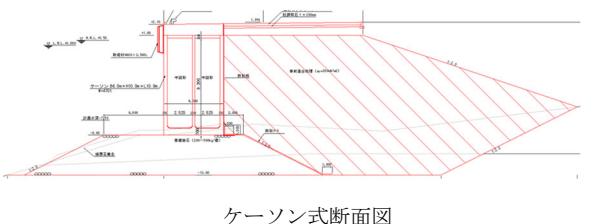
図-5 元付部の比較断面図

### 3. 2 先端部の構造形式

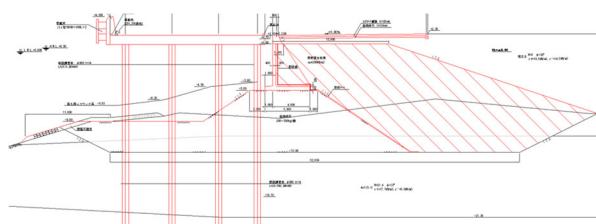
先端部の背後は、新潟県の背後埋立事業が計画されていることから、それらを考慮しつつ、重力式も含めた比較検討を行った。

「栈橋式」は、栈橋部に加え土留め部も新設することとなり経済性では不利である。「ケーソン式」では、岸壁本体が土留めを兼ね、別途土留めを設ける必要がない。また、施工性においても、ケーソン式は工種が少なく優位である。

以上より、総合的な比較検討で「ケーソン式」を選定した。図-6 に比較断面図を示す。



ケーソン式断面図



栈橋式断面図

図-6 先端部の比較断面図

### 4 性能照査結果

性能照査については、永続状態・変動状態（レベル 1）・偶発状態（レベル 2）の各外力条件で照査を行い、安定性を満足する断面を決定した。

#### 4. 1 元付部の照査結果

照査結果を表-2 に示す。偶発状態（レベル 2）の岸壁の法線位置における残留天端変位量は 46cm であり、可動橋が利用できる 50cm 以内に収まっている。また、背後既設土留め部の変位量は 17cm であり、土留め部とジャケット式栈橋の離

隔が 100cm であることから接触しないことを確認した。

表-2 ジャケット式桟橋の安定性照査結果

●永続状態・変動状態照査結果

鋼管杭	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	$0.89 < 1.0$	OK
支持力( $m \cdot S_d / R_d$ )		接岸時	<b>0.96 &lt; 1.0</b>	OK
根入れ長(m)	—		$16.60 > \beta / 3.0 = 10.5$	OK
レグ	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	$0.66 < 1.0$	OK
斜材外	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	接岸時	$0.69 < 1.0$	OK
水平材	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	接岸時	$0.67 < 1.0$	OK
上部桁	応力( $m \cdot S_d / R_d$ )	地震時	<b>0.81 &lt; 1.0</b>	OK

●偶発状態照査結果（新潟県南西沖地震）

桟橋残留天端変位量 $0.46m < 0.5m$ OK	桟橋護岸の相対変位量 $0.17m < 1.0m$ OK
桟橋沈下量 $0.06m < 0.20m$ OK	桟橋残留傾斜角 $< 3^\circ$ OK
桟橋護岸間段差 $0.17m < 0.3m$ OK	改良体背後段差 $0.15m < 0.3m$ OK
改良体最大せん断応力 $332kN/m^2 < 400kN/m^2$ OK	
桟橋鋼管杭 2か所で限界曲率を超える杭は存在しない OK	
支持力作用耐力比最大値 $0.57 < 1.0$ OK	
ジャケット部材作用耐力比最大値 $0.95 < 1.0$ OK	

#### 4. 2 先端部の照査結果

照査結果を表-3に示す。偶発状態(レベル2)の岸壁の法線位置における残留天端変位量が46cmであり、50cm以内に収まっている。

表-3 ケーソン式の安定性照査結果

●永続状態・変動状態照査結果

設計状態	永続状態		レベル1地震動		
	潮位	LWL	HWL	LWL	HWL
滑動	検討点 (ケーソン下端)	$0.06 < 1.0$	$0.02 < 1.0$	$0.67 < 1.0$	$0.67 < 1.0$
転倒	検討点 (ケーソン下端)	$0.08 < 1.0$	$0.05 < 1.0$	$0.76 < 1.0$	$0.76 < 1.0$
端趾圧		$193.08kN/m^2$	$177.83kN/m^2$	$651.51kN/m^2$	$653.98kN/m^2$
偏心傾斜荷重		$i < 0.1^\circ$	$i < 0.1^\circ$	<b><math>0.98 &lt; 1.0</math></b>	$0.96 < 1.0$
円弧すべり		$0.73 < 1.0$	$0.71 < 1.0$	—	—

●偶発状態照査結果

照査項目	性能規定値	偶発状態 (新潟県南西沖地震)	偶発状態 (M6.5直下型地震)
岸壁天端変位量	0.5m	$> 0.38m$	<b><math>&gt; 0.46m</math></b>
岸壁沈下量	0.2m	$> 0.147m$	$> 0.153m$
岸壁残留傾斜角	$3^\circ$	$> 0.3^\circ$	$> 0.4^\circ$
岸壁護岸間段差	0.3m	$> 0.05m$	$> 0.06m$

#### 4. 3 異なる構造形式の照査(相対変位確認)

同施設内で異なる構造形式を採用した場合、地震時の挙動が異なることから、相対的な変位の確認を行った。

レベル2地震動のFLIP解析より挙動の時刻歴を出力し、各区間の変位量を重ね合わせることで、評価を行った。

新潟県南西沖地震の時刻歴による変位量を図-7に示す。変位量±0.0は岸壁法線位置を示し、負の数値は海側への変位量である。水平変位量

は地震動が作用している間最大40cm程度相対変位が生じるが、地震動の収束に伴い、残留変位量が約10cm程度に収まることから、性能規定値の「断面間の相対変位量50cm以内」を満たし、耐震強化岸壁の性能を有していると判断できる。

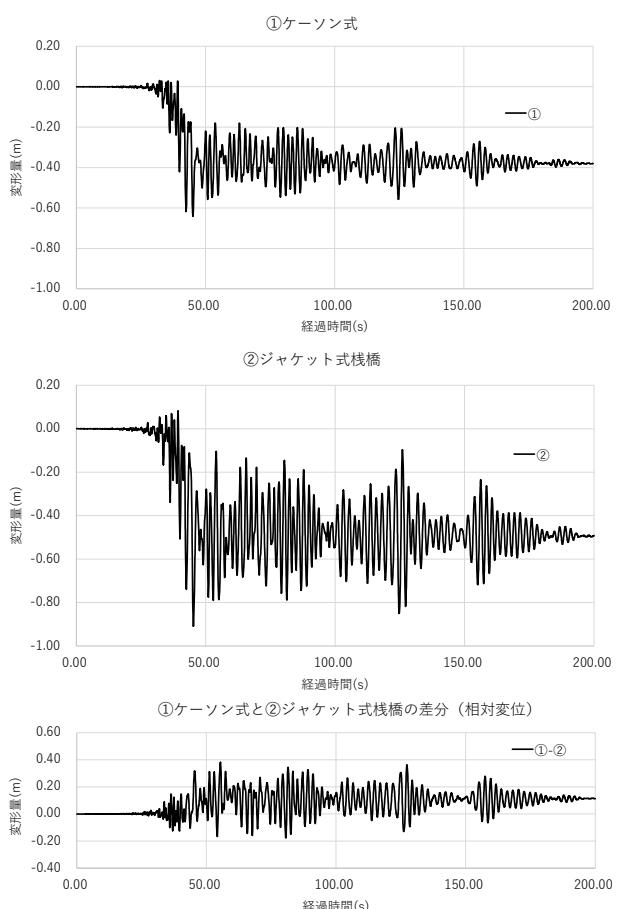


図-7 時刻歴の水平変位量

(新潟県南西沖地震の場合)

#### 5まとめ

耐震改良断面の検討を行い、施工性等を総合的に比較し、管内直轄岸壁で初めて「ジャケット式桟橋」を選定、制約条件の違いから1施設に2構造を採用した。レベル2地震後においても岸壁の機能を確保していることを性能照査により確認した。

今後、未設計の可動橋部分の検討や現地施工に向けて、問題が生じないかフォローアップを行っていく。

## ⑤ 環境の保全と創造

# 散布型路上表層再生工法『エリクサーシール』

東亜道路工業株式会社 技術研究所

○深谷 美優

東亜道路工業株式会社 北陸支店 副支店長

砂田 良和

## 1 はじめに

再生加熱アスファルト混合物(以下、再生混合物)は、劣化したアスファルト舗装を切削して得た再生骨材に、新規骨材、新アスファルト、再生添加剤を適宜加えて製造され、再度舗装に使用される。その生産量はアスファルト混合物全体の約75%を維持しており、すなわちアスファルト舗装の再資源化が一度だけでなく、複数回行われていることを意味する<sup>1)</sup>。

ここで課題となるのが、劣化と再生の繰返しによる旧アスファルト(以下、旧アス)の品質低下である。性状変化、組成変化、ドライスラッジの発生といったアスファルトの再生阻害要因と再資源化に伴う加熱工程によって、旧アスが規格値から外れ、表基層材料としてリサイクル困難な再生骨材が発生する<sup>2) 3)</sup>。

以上の背景から、従来の劣化・再生サイクルではなく、未切削でアスファルト舗装表層のリフレッシュを行うことを目的として、散布型路上表層再生工法『エリクサーシール』を開発した。本論文では、エリクサーシールの概要と、バインダ、混合物に与える効果について紹介する。

## 2 エリクサーシールの概要

本工法は、現位置において直接、植物由来材料を主体としたエマルションを散布し、アスファルト表層再生を行うものである。舗装の切削工程がなく常温散布のため、建設施工の低炭素化、低炭素材料の導入といった面でもカーボンニュートラルに貢献し得る。

## 2. 1 浸透再生機構

図-1に、エリクサーシールにより想定される舗装表層再生機構を示した。対象として、舗装の主たる損傷が気象劣化に起因する、交通量が比較的少ない路線を設定した。

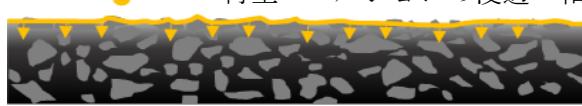
気象作用によるアスファルト舗装の劣化は空気との接触により進行するため、表層上部と下部で劣化の進行度合いが異なる<sup>4)</sup>。表層上下層の性状差は、外気温や交通負荷により微細なひび割れや骨材細粒分の飛散を生じ、路面損傷に繋がると考えられる。

このようなアスファルト舗装表面に、高い浸透性能と旧アスとの相溶性能を有する再生エマルションを散布することで、有効成分を混合物中に浸透させ、劣化アスファルトに作用させる。劣化した表層上部のアスファルト粘弾性状を回復させることにより、表層の性状を均一化し、舗装のリフレッシュを実現する。

気象作用によるアスファルト舗装表面の劣化



再生エマルションの浸透・相溶



粘弾性状の回復



表層上下層の性状均一化

## 2. 2 再生エマルションの処方

表一1に、使用した油相処方を示した。

一般的に、劣化したアスファルトでは芳香族分が減少し、レジン分、アスファルテン分が増加する。よって、芳香族分の補充に期待して、再生エマルションA、Bの油相には、植物系、鉱物系2種類の芳香族系再生添加剤を選定した。比較対象として処方Cには、飽和分の割合が高い汎用再生用添加剤を使用した。

また、処方A、Bには、ドライスラッジの発生を抑えるために凝集緩和剤を添加した。ドライスラッジは、様々な極性基を持つアスファルテンがレジンとネットワークを形成して発生させる凝集塊であると考えられている。凝集を抑制し、アスファルト本来の温度特性と粘弹性状に近づけるために、極性官能基間の距離を調整する作用を持つ凝集緩和剤を添加した。

## 3 バインダ再生効果の確認

舗装再生便覧が示す再生混合物の配合設計では、再生用添加剤量と設計針入度の検量線から最適な再生用添加剤量を決定する。本工法では針入度に加え、現場でのコア抜き調査から回収できる少量の旧アスで評価することを想定し、D S R 試験による最適散布量の定量化を試みた。

### 3. 1 バインダ再生評価

事前実験として、各処方の劣化アスファルト(以下、劣化アス)に対する相溶性を調査した。その結果、汎用再生用添加剤である処方Cと比較して、処方A、Bは相溶性が高く、特に処方Aでは5～20°C程度の低温・常温環境でも効果を発揮した。よって、以降の試験では処方A、Bを使用した。

### 3. 1. 1 試験方法

D S R 試験の供試体を作製した。再生油相添加量は、想定される再生エマルション散布量に対応するように、1m<sup>2</sup> × 1cm 厚混合物中の旧アス量に対して決定した。表一2に詳細を示した。熱影響を抑えるため、混合温度は劣化アスと再生油相を攪拌できる最低温度範囲に留めた。

D S R 試験は、舗装調査試験法便覧A 0 6 2にしたがい、ひび割れ抵抗性の指標となる25°Cにおける損失弾性率  $G*\sin \delta$ 、および物質の粘弹性を示す損失正接  $\tan \delta$  に着目した。表一3に、D S R 試験の試験条件を示した。

表一1 再生油相処方（再生添加剤の違い）

項目	処方A	処方B	処方C
汎用再生用添加剤	-	-	○(主)
鉱物系再生添加剤	△(副)	○(主)	-
植物系再生添加剤	○(主)	△(副)	-
凝集緩和剤	○	○	-

表一2 旧アスと再生油相の混合条件

項目		混合条件			
混合温度 (°C)		130±10			
混合時間 (min)		10			
混合攪拌速度 (rpm)		750			
油相添加量 (wt%)	0.00	0.06	0.12	0.18	
再生エマルション散布量 (L/m <sup>2</sup> )	0.00	0.15	0.30	0.45	

表一3 D S R 試験条件

項目		条件
周波数(ひずみ速度) (rad/sec)		10
ひずみ (%)		0.05
試料厚さ (mm)		1
試験片直径 (mm)		25
試験温度 (°C)		0～60

表一4 25°CにおけるD S R 試験結果

項目	再生エマルション散布量 (L/m <sup>2</sup> )				比較 StAs 60/80
	0	0.15	0.30	0.45	
処方A	$G*\sin \delta$ (kPa)	4310.0	485.0	79.4	20.8
	$\tan \delta$	1.12	1.96	3.06	4.52
処方B	$G*\sin \delta$ (kPa)	4310.0	1177.5	374.5	137.7
	$\tan \delta$	1.12	1.59	2.10	2.66

### 3. 1. 2 評価結果

表一4にD S R試験の結果を示した。劣化アスの損失弾性率は4310kPaであり、既往の研究と照らし合わせると、ひび割れが増大すると判断される水準の数値であった<sup>5)</sup>。

一方再生油相と混合した供試体では、添加量の増加に伴い損失弾性率が低下し、損失正接は増加した。処方Aでは、再生エマルションとして0.30L/m<sup>2</sup>を散布することでひび割れ抵抗性が向上し、ストアス60/80と同等の粘性が得られた。

## 4 混合物再生効果の確認

再生エマルションの現場適用効果を確認するために、混合物再生効果を調査した。熱処理を介さない確認方法として、アスファルト混合物の摩耗抵抗性とひび割れに対する挙動から再生効果の確認を試みた。

### 4. 1 摩耗抵抗性の評価

#### 4. 1. 1 試験方法

約13年間屋外曝露したWT供試体密粒13(ストアス60/80)の半面に再生エマルション処方を0.30L/m<sup>2</sup>散布し、3日間室温にて養生した。脆弱化の程度を評価するため、舗装調査試験法便覧B002に示されるラベリング試験を参考にした。表一5に試験条件を示した。

#### 4. 1. 2 評価結果

写真一1に試験後の供試体外観、図一2にラベリング試験20分後の断面形状を示した。散布無しの半面では供試体表面のモルタルや粗骨材が取れ、摩耗の進行が速いことが確認できた。一方再生エマルションを散布した半面では、摩耗がわずかで摩耗面は黒色を呈していることか

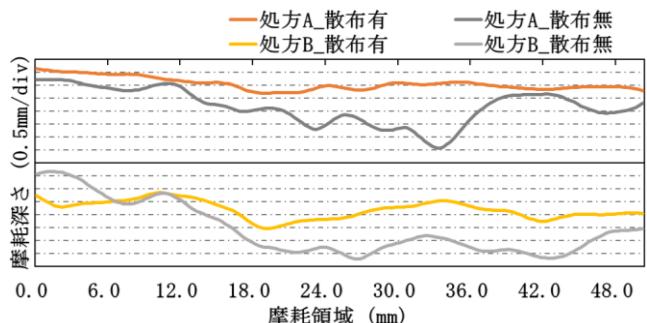
ら、再生油相による浸透再生効果が確認できた。また、処方AはBよりも断面形状の変化が小さく、これは散布後の養生温度環境における溶解性能や再生有効成分の違いによるものと窺える。以上の結果より、常温状態の混合物においても、D S R試験の結果と同様に粘弹性状の回復傾向が示された。

表一5 摩耗抵抗性試験条件

項目	試験条件
チェーン種	クロスチェーン
試験温度 (°C)	-10
養生時間 (hr)	4



写真一1 摩耗抵抗性試験後状況 (処方A)



図一2 ラベリング試験後の断面形状比較

#### 4. 2 ひび割れ閉塞に対する評価

エリクサーシールを適用することでアスファルト粘弹性状の回復が認められたことから、既設路面に発生したひび割れが、走行タイヤのニーディング作用に伴い閉塞する事に期待した。

評価方法として、次の試験を考案した。

#### 4. 2. 1 試験方法

再生骨材を使用したWT供試体密粒13に、分割により路面のひび割れを再現した。再生エマルジョン処方Aを0.30L/m<sup>2</sup>散布した後、一晩室温にて養生した。

ホイールトラッキング試験機を用いて、トラバースをかけながら転圧することで、交通荷重を再現した。表-6に試験条件を示した。試験前後のひび割れの閉塞程度を、目視と透気係数で評価した。透気係数は既往の研究を参考に、現場透気試験から算出した<sup>6)</sup>。

#### 4. 2. 2 評価結果

写真-2に転圧前後の供試体外観を示した。再生エマルジョンを散布した供試体は、散布無と比較してひび割れが閉塞傾向にあった。表-7に現場透気試験結果を示した。転圧前はどちらも測定不能であったが、再生エマルジョン散布後に転圧を行うと、透気量の減少を確認した。

これらの結果より、常温状態において、再生エマルジョン散布によるアスファルト性状の回復が、混合物のひび割れ閉塞に寄与することが示唆された。実路においても、施工後に繰返し交通荷重がかかることにより、路面損傷の回復が見込まれる。

#### 5 おわりに

エリクサーシールは、現位置において再生エマルジョンを常温散布することで舗装表層を再生させる、簡便で低炭素な路上表層再生工法である。気象劣化により微細なひび割れ等の損傷が生じた路面に適用することで、舗装表層上部の劣化したアスファルトを新設時のアスファルト性状に近づけ、舗装混合物性状の回復に寄与する。

表-6 WT試験機走行条件

項目	条件
走行条件	トラバース
載荷荷重 (N)	686
接地圧 (MPa)	0.63
走行速度 (/mm)	21往復
トラバース速度 (cm/min)	10
トラバース幅 (cm)	25
試験温度 (°C)	30
試験時間 (hr)	1

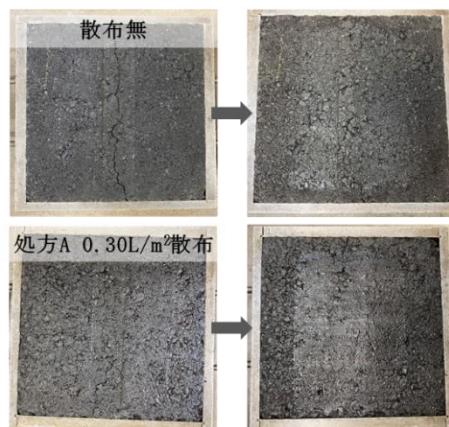


写真-2 転圧前後の供試体状況

表-7 現場透気試験結果

再生エマルジョン 散布量 (L/m <sup>2</sup> )	透気係数 (cm/s)	
	転圧前	転圧後
0	測定不能	測定不能
0.30	測定不能	$4.42 \times 10^5$

#### 【参考文献】

- 一般社団法人日本道路建設業協会:「道路における建設資材調達に関するあり方検討委員会」説明資料, 2019.
- 田湯他:アスファルトの繰り返し再生に適した再生用添加剤選定における省力化の検討, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol. 75, No. 2(舗装工学論文集第24巻), I-209-I-214, 2019.
- 田湯他:再生用添加剤の成分差異が再生アスファルトおよびその再生混合物の性状に与える影響, 土木学会第73回年次学術講演会講演集, V-631, 2018.
- 平戸他:長期供用された高速道路で用いたアスファルトの気象劣化現象に関する調査結果, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol. 70, No. 3(舗装工学論文集第19巻), I-123-I-130, 2014.
- 河村他:既設舗装から回収したアスファルトのDSR試験によるひび割れ抵抗性評価の検討, 土木学会第75回年次学術講演会講演集, V-479, 2020.
- 松葉他:舗装路面の止水性能の評価に向けた現場透気試験の改良, 土木学会第70回年次学術講演会講演集, V-342, 2015.

# CO<sub>2</sub>固定型コンクリートの消波ブロック適用に向けた検討

株式会社不動テトラ 総合技術研究所 材料・構造グループ ○昇 悟志  
ブロック環境事業本部 錦織 和紀郎  
東京本店 ブロック環境技術営業部 廣瀬 紀一  
ブロック環境事業本部 技術部 木村 圭悟

## 1 はじめに

我が国は CO<sub>2</sub> 排出量の 6 割を占める発電、鉄鋼、化学工業などの多くが立地する港湾においては、2050 年までに CO<sub>2</sub> 排出量を実質ゼロとする政府目標を達成するため、カーボンニュートラルポート（CNP）形成に向けた取り組みが進められている。また、港湾工事等から排出される CO<sub>2</sub> の削減を進めるため、「港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル」<sup>1)</sup>が策定され、2023 年度以降、港湾においても低炭素材料を活用する試行工事が実施される予定である。

港湾施設のうち、主に防波堤で数多く用いられている「テトラポッド」に代表される消波ブロック施工時の CO<sub>2</sub> 排出量は材料由来の割合が大きい。消波ブロック関連工事の CO<sub>2</sub> 排出量削減は港湾のカーボンニュートラルポート形成に大きく貢献できるものとなることから、低炭素材料を活用したコンクリートの消波ブロックへの適用性も研究されつつある<sup>2)</sup>。

そのような中、『革新的カーボンネガティブ（CN）コンクリートの材料・施工技術及び品質

評価技術の開発』が、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）のグリーンイノベーション基金事業に採択された。鹿島建設、デンカ、竹中工務店を幹事企業とする全 55 団体にてコンソーシアム「CUCO（クーコ）」（図-1）を結成し、研究開発に取り組んでいる。本稿では、CUCO のコンソーシアムの中で、我々が主として開発を実施する「CO<sub>2</sub> 固定型消波ブロック」について、その内容の概要とこれまでの成果、そして今後の展望について述べる。

## 2 検討概要

近年開発が活発に行われている環境配慮型コンクリートは、①セメントを置換する材料技術、②骨材や粉体に CO<sub>2</sub> を固定化する技術、③コンクリートに CO<sub>2</sub> を吸収させる技術の 3 種類に分類できる。

CUCO では、これら 3 つの技術を組み合わせてカーボンネガティブコンクリートの開発に取り組んでいる。本稿では、粉体 40% 以上を高炉スラグ微粉末で置き換えた①の技術に、CO<sub>2</sub> と反応する特殊混和材（以降、γ-C<sub>2</sub>S と称す）を練り混ぜて成型したコンクリートを、CO<sub>2</sub> で満たされた環境下で養生して強制的に炭酸化させて大量の CO<sub>2</sub> を吸収・固定させる③の技術を組み合わせた CO<sub>2</sub> 固定型コンクリートについて、これまでに得られた検討成果の一部を紹介する。



図-1 コンソーシアムのロゴ

### 3 CO<sub>2</sub> 固定型コンクリートによる消波ブロックの成型実験<sup>3)</sup>

#### 3. 1 実験概要

消波ブロックは製作の初期段階で脱型（材齢2日）や転置・仮置（材齢3日）を行うため、その作業に必要な強度が要求される。また、一般的な土木構造物と違い複雑な形状をしており、断面も一様ではないことから、③の技術による炭酸化の状況は既往の研究で行われてきた円柱供試体の場合と異なることも推測される。

そこで、別途実施したモルタル配合による成果<sup>4)</sup>をもとに決定したコンクリート配合にて40kgの消波ブロックを成型し、初期材齢および材齢7日、28日の圧縮強度および静弾性係数を測定した。ここで、使用材料、およびコンクリート配合は表-1、表-2の通りであり、普通セメント、高炉スラグ微粉末、および $\gamma$ -C<sub>2</sub>Sの配合比率は40:55:5、W/Pは50%とした。ここで、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>Sは非水硬性で、CO<sub>2</sub>と直接反応して硬化する混和材である。また、消波ブロックは円柱供試体とともに材齢2日に脱型し、材齢3日より高濃度型促進炭酸化装置を用いて炭酸化養生を行い（図-2）<sup>5)</sup>、炭酸化養生後は炭酸化の状況を確認した。炭酸化養生条件は温度50°C、湿度50%，CO<sub>2</sub>濃度80%とした。

#### 3. 2 試験結果

図-3に圧縮強度の測定結果、図-4に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。封緘養生の場合、材齢に伴って圧縮強度が増進しており、圧縮強度と静弾性係数の関係含め、通常のコンクリートと同傾向である。一方で、炭酸化養生の場合は材齢初期の強度増進が著しい。これは、炭酸化によって細孔構造が緻密化したためと考えられる。一方で、材齢7日以降になると強度増進が見られず、静弾性係数も封緘養生時より小さ

表-1 使用材料

項目	記号	材料名
練混ぜ水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm <sup>3</sup> )
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末 (密度:2.91g/cm <sup>3</sup> )
	$\gamma$	$\gamma$ C <sub>2</sub> S (密度:2.85g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	山砂、碎砂 (密度:2.64g/cm <sup>3</sup> , 2.63g/cm <sup>3</sup> )
粗骨材	G	碎石 (密度:2.65g/cm <sup>3</sup> , 2.64g/cm <sup>3</sup> )
混和剤	AD	高性能AE減水剤
	AE	空気量調整剤

表-2 コンクリート配合<sup>3)</sup>

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	W/P (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	BFS	$\gamma$	S	G
12	4.5	125	50	47.0	169	135	186	17	835	951

W/P : 水粉体比 (粉体:セメント+BFS+ $\gamma$ )



図-2 炭酸化実験の状況<sup>5)</sup>

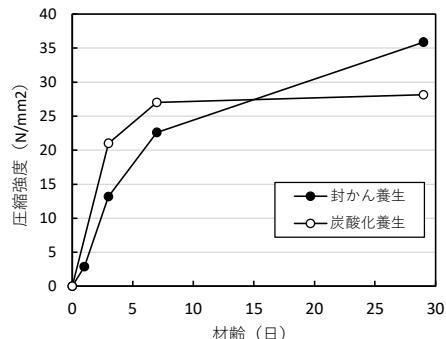


図-3 圧縮強度の測定結果<sup>3)</sup>

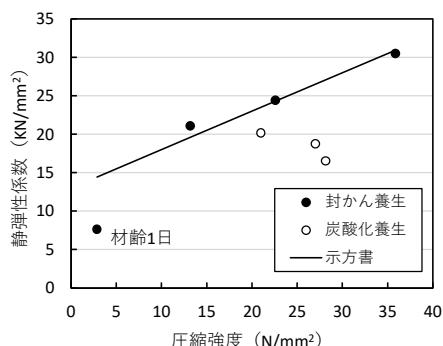


図-4 圧縮強度と静弾性係数の関係<sup>3)</sup>

い。これらの理由として、高炉スラグ微粉末はアルカリ刺激により化学反応して硬化するが、初期の炭酸化によって供試体内部に高炉スラグ微粉末の未硬化部が存在した可能性も考えられる。既往の研究では、高炉スラグ微粉末の混入量が増えると促進炭酸化によって空隙が増えることもわかっており<sup>6)</sup>、今後さらなる検討が必要である。

### 3. 3 消波ブロックへの適用性

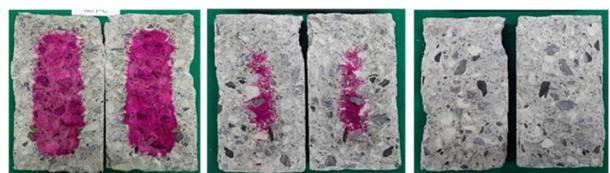
一般に消波ブロックの設計基準強度は 18~21N/mm<sup>2</sup>であり、脱型強度は 3.5N/mm<sup>2</sup>、転置・仮置強度は約 4.0~8.0N/mm<sup>2</sup>である。図-3 より材齢 2 日で脱型、材齢 3 日で転置可能である。また、脱型直後のコンクリート表面の状況も通常のコンクリートと遜色ないことから、消波ブロックへの適用は可能である。

### 3. 4 炭酸化の状況

図-5、図-6 は炭酸化養生を行った供試体と消波ブロックにフェノールフタレイン溶液を噴霧して確認した炭酸化状況である。供試体は材齢 29 日に全体が炭酸化したが、材齢 7 日に供試体中心部を除いたほぼ全体が炭酸化しているため、材齢 29 日を待たずに全体が炭酸化したと推測される。消波ブロックの炭酸化深さは炭酸化養生期間 40 日の測定結果であり、脚先が一番深くて平均 99mm、全測定箇所平均で 66mm であった。また、未炭酸化部は消波ブロックをほぼ相似で縮小した形（範囲）となっていることから、脚先以外の場所の炭酸化状況を確認することで消波ブロック全体の炭酸化状況を推定できる。今回の 40kg の消波ブロックの炭酸化部を推定した結果、全体体積の約 76% であった。

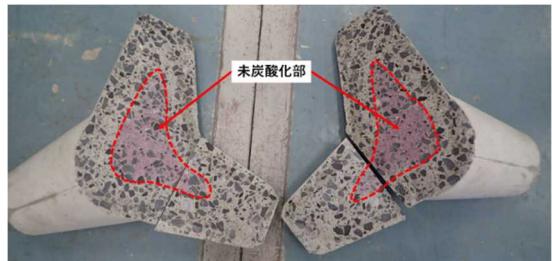
## 4 現場打設による試験に向けて

実物の消波ブロックは質量約 500kg~100t (0.2m<sup>3</sup>~43m<sup>3</sup>) が存在する。炭酸化深さがブロ



材齢 3 日  
(平均 25.7mm)  
材齢 7 日  
(平均 39.0mm)  
材齢 29 日  
(全体炭酸化)

図-5 供試体の炭酸化状況<sup>3)</sup>



(全体平均 66mm、脚先端平均 99mm)

図-6 消波ブロックの炭酸化状況



図-7 暴露試験予定地（静岡県熱海市）<sup>5)</sup>

ックの大きさによらず一定であるとすれば、消波ブロックの大型化に伴いブロック全体積に占める炭酸化部体積の比率は小さくなっていく、ブロック 1 個当たりの CO<sub>2</sub> 固定量は相対的に小さくなっていく。そこで、消波ブロックの CO<sub>2</sub> 固定量を最大化させてカーボンネガティブを達成するため、骨材や粉体に CO<sub>2</sub> を固定化する技術等の適用も CUCO 内で議論しながら進めている。

現在、消波ブロックに要求される性能を満足する環境配慮型コンクリートの基本的な配合技術の目途が立ったため、実大ブロックを複数個、

現場打設にて製作して暴露試験を実施する予定である（図-7）。

## 5 今後の課題と展望

消波ブロックは国内外で広く普及しており、近年激甚化・多様化する自然災害に対しても、その防災・減災・機能強化の役割を果たしている。しかしながら、将来にわたって消波ブロックを使用していくためには環境配慮型コンクリートの適用は不可欠である。本稿にて紹介した成果も含め、これまでの取り組みによって消波ブロックの要求性能を満足する配合設計技術の目途が立ちつつあるが、課題も多い。

まず、消波ブロックは大型クラスになると1日当たり約100m<sup>3</sup>の生コンクリートの供給となるため、環境配慮型コンクリートの使用材料の大量生産も含めた供給体制の確立が必要である。また、全国で適用させるためには生コンクリート工場との連携や地産地消性も欠かせない。

次に、コンクリートにCO<sub>2</sub>を吸収させる技術を適用するための促進炭酸化養生方法である。消波ブロックの1日当たりの製作個数は80t～100tクラスの超大型で1～2個、小型で20～30個にもなる。それら大量に製作されたブロックを簡便で効率的に促進炭酸化させる養生方法、あるいはCO<sub>2</sub>を大量に固定化させる方法が求められる。

また、消波ブロックの製作現場においても作業員の高齢化は進んでおり、製作現場の省力化への対応の一つとして生コンクリートの高流動化も期待される。

今後、全国的に社会実装していく上で上記の課題は克服しなければならないが、消波ブロックへ適用可能と判断された技術は適用できる場所から隨時消波ブロックの製作現場、もしくは試行工事等に適用していきたい。現場打設によ

る実大ブロック製作と暴露試験の成果も生かし、早期の社会実装を実現すべく技術開発を加速させていく所存である。

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21014）を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局港湾空港部：港湾工事等における低炭素型材料の活用マニュアル（Ver.1.0），2023.5.
- 2) 川端雄一郎，中村董：高炉スラグ微粉末を大量使用したコンクリートの港湾の無筋ブロックへの適用性に関する検討，土木学会第78回年次学術講演会，2023.
- 3) 錦織和紀郎ほか：CO<sub>2</sub>吸収型消波ブロックのCO<sub>2</sub>削減効果の一考察－GI基金事業『CUCO』開発成果－，土木学会第78回年次学術講演会，2023.
- 4) 昇悟志ほか：CO<sub>2</sub>吸収型コンクリートの消波ブロック適用に向けた基礎検討－GI基金事業『CUCO』開発成果－，土木学会第78回年次学術講演会，2023.
- 5) 坂井五郎，昇悟志：カーボンネガティブを実現する消波ブロックの開発，土木学会誌，Vol.107, No.11, 2022.11.
- 6) 坂井悦郎，金尚奎，大門正機：高炉スラグセメント硬化体の炭酸化反応による多孔化的抑制方法，セメント・コンクリート論文集，No.49, pp.714-719, 1995.

## ⑥ その他

# 自己充填覆工構築システムの開発

佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部

○弘光 太郎

主席研究員 小山 広光

部長 小野 知義

## 1 はじめに

従来、山岳トンネルの覆工コンクリートの施工は、スランプ 15cm 程度のコンクリートを作業窓から打ち込み、バイブレータで締め固めて充填させ、配管を順次上部へ切り替える方法で行われている。打設前の準備作業から清掃作業に渡り、狭隘な空間での作業を余儀なくされるため作業員に掛かる負担は大きく、技量や経験に頼らざるを得ないのが実状である。

さらに、近年の建設作業員の高齢化や熟練工不足により、近い将来、従来工法を継続することが困難となることが予想され、施工に起因する不具合の発生が懸念される。

そこで、筆者らは、自己充填コンクリートをライドセントル下端から圧入し、コンクリートをトンネル天端まで充填させる自己充填覆工構築システム<sup>1)</sup>を開発した（図-1 参照）。

本稿では、自己充填覆工構築システムの概要および模擬トンネルによる実物大施工実験の結果について紹介する。

## 2 自己充填覆工構築システムの概要

自己充填覆工構築システムは、コンクリート打込み時に作業窓を使用せず、自己充填コンクリートをライドセントル下端からの圧入により覆工を構築するシステムである。ライドセントルの下端に設けた圧入口から自己充填コンクリートを型枠内に圧入し上方へ流動させることにより、従来工法では必須であったバイブル

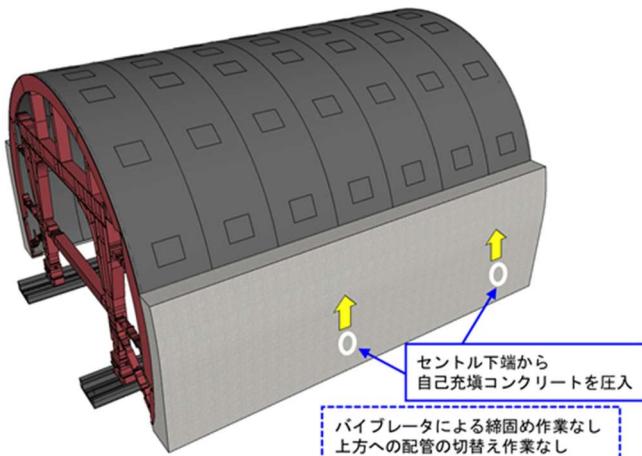


図-1 自己充填覆工構築システムの概要

ータによる振動締固め作業および打込みの進行に伴う上方への配管切替え作業を行わずに、覆工の天端部までコンクリートを充填することができる（図-1 参照）。これらの狭隘空間での作業を省略することにより、覆工施工の省力化および省人化を図るとともに、施工時のヒューマンエラーに起因する品質の低下を抑制することが可能となる。

## 3 実物大施工実験による検証

### 3. 1 実物大実験装置の概要

自己充填覆工構築システムによる施工の妥当性について検証を行うため、模擬地山および実際のライドセントルを用いた実物大施工実験を当社敷地内にて行った。

写真-1 に実物大施工実験の状況、図-2 に実験に用いたライドセントルの概要図を示す。基礎コンクリートとコンクリート壁の上に鋼製



写真-1 覆工実物大施工実験の実施状況

支保工およびキーストンプレートを設置して模擬地山を構築した。内面に防水シートを敷設したのち、模擬地山内にスライドセントルをセットし、圧入口に圧送配管を接続してコンクリートポンプ車で自己充填コンクリートを圧送した。

### 3. 2 コンクリートの配合

表-1に自己充填コンクリートの配合を示す。自己充填コンクリートは目標スランプフローを600mm、自己充填ランク3とした。

### 3. 3 液圧に対応したスライドセントル

自己充填コンクリートは、高性能AE減水剤を使用して圧入時の流動性を保持させているため、スライドセントルに作用する側圧は液圧となる。圧入完了後も長時間にわたって側圧が減少しにくいため、従来のスライドセントルに補強設計を行い、胴梁およびジャッキ、補強リブの追加、ジャッキサイズの変更を行った。

### 3. 4 各種センサの配置

圧入中のコンクリートの充填状況を確認するため、スライドセントル型枠面には、コンクリートの打上がり高さを感知する充填感知センサ

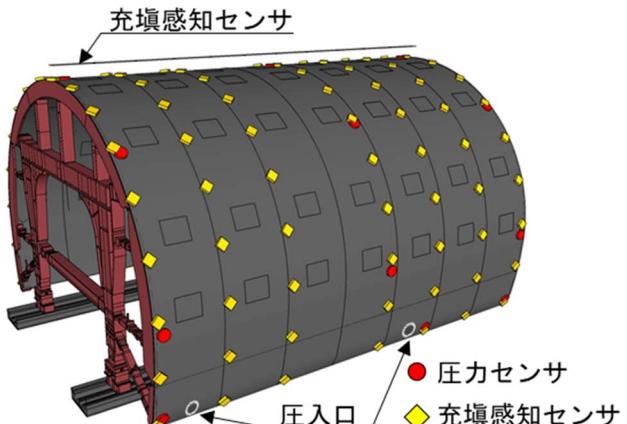


図-2 スライドセントルの概要図

表-1 自己充填コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	S1	S2	G	SP
41.6	48.7	4.5	170	409	576	257	904	6.95

#### 使用材料

C：普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm<sup>3</sup>)

S1：山砂(茨城県行方市産、表乾密度 2.58g/cm<sup>3</sup>)

S2：砕砂(栃木県佐野産、表乾密度 2.69g/cm<sup>3</sup>)

G：砕石 2005(茨城県つくば市産、表乾密度 2.69g/cm<sup>3</sup>)

SP：高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物と増粘成分)

(119箇所)および型枠面に作用する圧力を計測する圧力センサ(23箇所)を配置した。また、天端部の充填状況確認のため、天端部(防水シート側)にも充填感知センサ(11箇所)を配置した。

### 3. 5 施工手順

図-3に配管切替え装置を用いた自己充填コンクリートの圧入方法を示す。

左右の圧入口に圧送経路を切り替える配管切替え装置を底版部に設置し、圧入口に接続した配管からコンクリートポンプ車を使用して圧入を行った。

側壁部から肩部にかけてのコンクリートの圧入は、片側2箇所の圧入口を同時に使用して行った。圧入によるスライドセントルへの偏圧を最小限にするため、左右の打上がり高さの差が

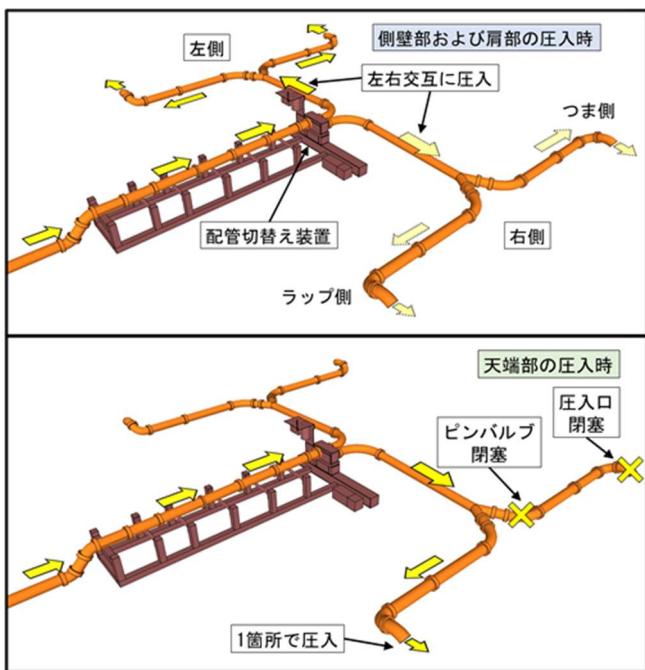


図-3 自己充填コンクリートの圧入方法

0.5m程度以内におさまるよう、充填感知センサによる型枠内部のモニタリングおよび目視確認を行いながら、配管切替え操作を行った。

天端部のコンクリートの圧入は、片側のラップ側圧入口1箇所から行い、ラップ側における未充填箇所の発生を防止するため、ラップ側からつま側にかけて充填させるように圧入した。天端部の圧入に切り替えたと同時に、つま側への圧送経路を遮断するため、ピンバルブおよび圧入口を閉じた。天端部に配置した充填感知センサがラップ側からつま側までの全箇所においてコンクリートの到達を感じた後、つま型枠

の打音により充填確認を行って圧送を終了することとした。

#### 4 実験結果

##### 4. 1 自己充填コンクリートの圧送

圧入数量80m<sup>3</sup>に対して、圧入時間は3時間18分となった。配管の閉塞等のトラブルも無く圧送を完了した。また、液圧によるスライドセントルの補強設計を行っていたため、打上がり速度に制約がなく、連続的な打込みにより施工時間を従来工法に比較して1時間程度短縮する結果となった。

##### 4. 2 型枠内部の充填状況

図-4に充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況を示す。側壁部では片側2箇所の圧入口から端部へ向かって自己充填コンクリートが充填する状況を充填感知センサによって確認でき、ラップ側、中央部、つま側の順に型枠内部が充填された。

天端部では、圧入側のラップ側からコンクリートが天端部を越流して左右のコンクリート打上がり面が合流し、その後、つま側に向かって天端部が充填される様子を確認した。

##### 4. 3 スライドセントルに作用する圧力

図-5にスライドセントル下端部に設置した

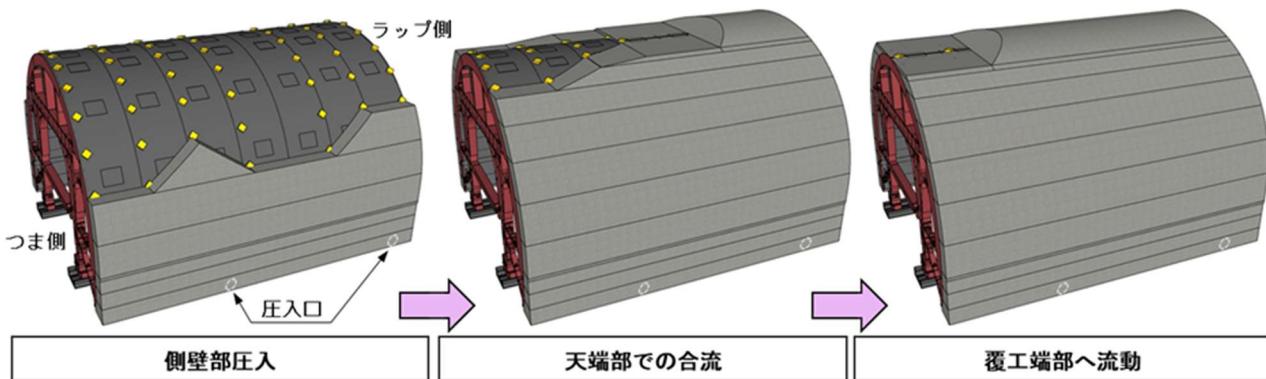
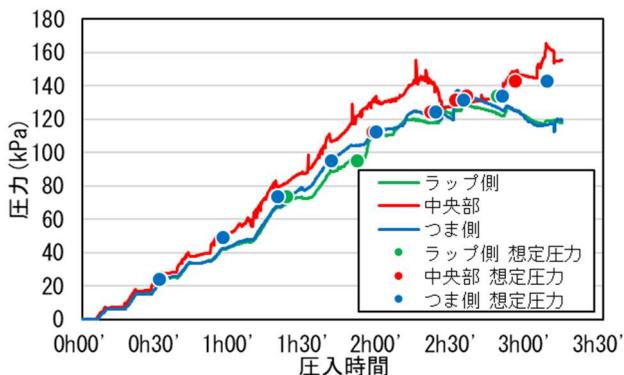


図-4 充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況



図－5 圧力センサの計測値

圧力センサの計測値を示す。

打上がり高さに自己充填コンクリートの単位体積重量を乗じて求められる想定圧力に対して、実測した圧力が圧入開始から完了までおおむね一致することを確認した。

#### 4. 4 施工時の体制

コンクリート打込み作業は、配管の左右の切替え操作 1 名と、つま型枠監視 2 名の計 3 名で行うことができた。圧入中は、充填状況をモニタにより確認しつつ、配管切替え装置により 1 層ごとに圧送経路を切り替える作業を繰り返し行った。

#### 4. 5 覆工の出来映え

充填不良やコールドジョイントの発生等は認められず、自己充填コンクリートの圧入による構築が可能であることが確認できた。従来工法でスプリングライン下方に発生しやすい巻込み空気による表面気泡もなく、良好な出来映えであった（写真－2 参照）。

#### 5 おわりに

実物大施工実験により、スライドセントル下端部からの自己充填コンクリートの圧入による覆工構築が可能であることを実証した。また、バ



写真－2 本システムを適用したトンネルにおける覆工の出来映え

打上がり高さに自己充填コンクリートの単位体積重量を乗じて求められる想定圧力に対して、実測した圧力が圧入開始から完了までおおむね一致することを確認した。

イブレータによる振動締固めおよびスライドセントルの作業窓から作業窓への配管切替え作業の省略により、コンクリート打込み時の作業環境が改善した。これらの成果をもとに、当社トンネル現場において自己充填覆工構築システムを一部区間に適用した。

適用の結果、作業内容の省略により実験と同様に 3 名で施工を完了し、省力化、省人化が可能であることを実証した。

今回、既存のセントルを液圧に対応するために胴梁を設置し、実験で使用した配管切替え装置を転用したことにより、スライドセントルを通行する車両に対して通行止めが生じた。また、経済性や汎用性を考慮すると、自己充填コンクリートの配合や製造方法等においてもさらなる検討が必要であると考えられる。今後、これらの課題を解決し、自己充填覆工構築システムの汎用化を目指していきたい。

#### 参考文献

- 弘光太郎, 藤原正佑, 小山広光, 小野知義：自己充填コンクリートの圧入によるトンネル覆工構築, コンクリート工学年次論文集, Vol. 45, No. 1, pp. 334-339, 2023 年.

# 石川県における建設業の働き方改革の推進について

## ～いしかわ週休2日工事・ICTの活用等～

石川県土木部監理課 技術管理室 濱野仁樹

### 1. はじめに

建設業は、社会資本整備を支える担い手であるとともに、災害復旧や除雪など、県民の安全・安心の確保を担う「地域の守り手」として重要な役割を果たしています。しかし、近年就業者数の減少や高齢化による将来の担い手不足が大きな課題となっており、将来の担い手確保に向けた建設業の働き方改革が重要となっています。

このため本県では、就業環境の改善として「いしかわ週休2日工事」の実施や、生産性向上としてICT建設機械を活用した工事の実施、遠隔臨場の実施など、働き方改革の推進に向けた取組を実施しております。

### 2. いしかわ週休2日工事

#### 2-1 これまでの取組

建設現場における週休2日制の普及・定着に向けた取組として、平成27年度から、原則土日を休日とする「いしかわ土日おやすみモデル工事」を導入し、令和4年度には過去最多となる3,199件でモデル工事を実施したところです。

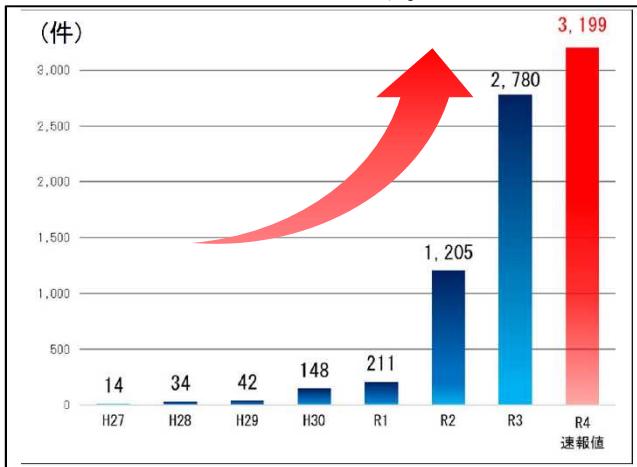


図-1 モデル工事の実施件数

モデル工事では、実施件数の拡大を図るため、週休2日の確保を条件とする「発注者指定型」に加えて、受注者が実施の有無を選択できる「施工者希望型」で発注を行っているほか、週休2日を達成した場合は工事成績評定で加点を行っています。

また、週休2日の実施により工期が長くなることから、共通仮設費や現場管理費、機械経費を補正す

るとともに、休日が増えることで工事従事者の収入減に繋がらないよう、労務費についても補正を行っています。

令和3年度からは、受注者がモデル工事に取り組みやすいよう、発注者指定型に加えて、施工者希望型についても、週休2日に伴う補正を必要経費として当初設計で計上することとしました。

なお、施工者希望型でモデル工事を希望しない場合や週休2日が達成できなかった場合は、補正分を減額しております。

#### 2-2 近年の取組

これまでの取り組みにより週休2日工事が周知されてきたことから、令和4年度からは、「いしかわ週休2日工事」として、災害復旧を除く全ての工事において、発注者指定型として週休2日を実施することとしました。

さらに今年度からは、災害復旧工事も施工者希望型にて対象に追加し、全ての工事で週休2日を実施できるようにしたところです。

現在働いている工事従事者や将来の入職者にとって、建設業がより魅力的でやりがいを感じる産業になるよう、引き続き、週休2日工事の推進に積極的に取り組んでいきたいと考えております。

### 3. ICTの活用

#### 3-1 これまでの取組

ICT建設機械の活用については、減少が予想される熟練したオペレータに頼ることなく、より効率的で安全な工事の促進に向けて、平成27年度から道路土工においてモデル工事に着手しております。

これまで、河川土工などを順次対象工種を追加し、令和4年度は過去最多となる178件でモデル工事を実施したところです。

工種	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5
道路土工	1	3	11	14	16	27	64	82	
河川土工		2	4	16	10	8	29	35	
舗装路線工			4	2	7	1	39	35	
砂防土工				3	4	3	9	5	
河川護岸工					4	4	4	4	
地盤改良工						1		16	
小規模土工								1	
舗装修繕工									1
構造物工									
実施件数	1	5	19	35	41	44	145	178	

図-2 ICT施工の実施件数

モデル工事では、ICT施工の普及・拡大を図るため、建設機械のリース料や3次元設計データ作成の費用など、必要な経費を適切に設計で計上するほか、ICT施工を実施した場合は工事成績評定で加点を行っています。

令和3年度には、ICT建設機械による施工を必須とせず、出来形管理等の施工管理や検査で3次元データを活用する「簡易型ICT活用工事」を導入しました。

「簡易型ICT活用工事」は、ICT技術を活用する工事の施工プロセスのうち、「3次元設計データ作成」、「3次元出来形管理等」および「3次元データの納品」のみを必須とするものです。

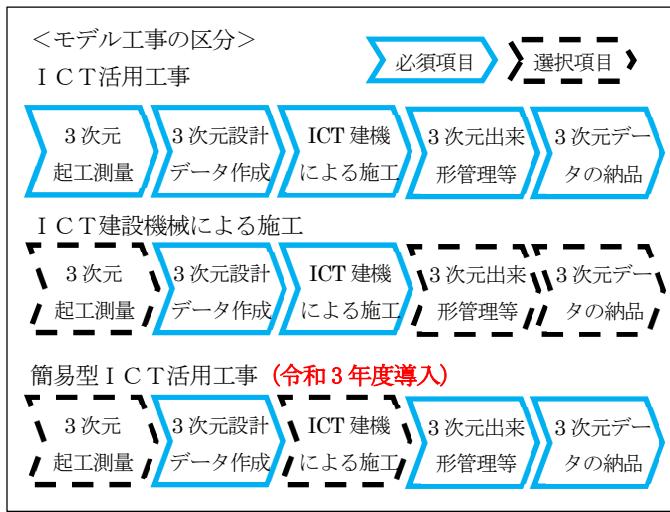


図-3 ICT施工の区分



簡易型ICT活用工事の導入により、これまで3次元データに触れてこなかった受注者にも、3次元データに触れる機会が増えることで、今後のICT施工の拡大が期待されます。

### 3-2 今年度の取組

今年度は対象工事の拡大として、舗装修繕工事において、舗装面を削る作業で、従来、人の手で削り取る厚みを計測していたものをICTで自動的に計測する「舗装修繕工」と、橋台など構造物の出来形計測でICTを活用する「構造物工」を10月に追加したところです。

#### ■舗装修繕工

[舗装面の削り取り] (従来の作業状況)



写真-2 ICT舗装修繕工

#### ■構造物工

[3次元測量]



[出来形検測]

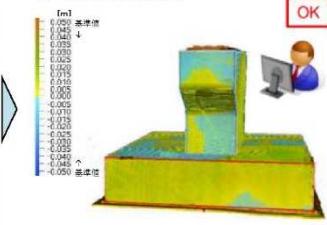


写真-3 ICT構造物工

この2工種の追加により、実績が積み上がったことから、名称を「ICT工事」に改称し、更なる活用に取り組むこととしております。

### 4. 遠隔臨場の試行

令和3年度から、業務効率化のため、各出先事務所にタブレットを配付し、工事現場において立会確認等をリモートで実施する遠隔臨場に取り組み始めたところです。

本県の遠隔臨場では、スマートフォンやタブレット等のモバイル端末によるテレビ会議システムを活用し、建設現場における「段階確認」や「材料確認」、「立会」を遠隔で行い、受発注者双方の業務の効率化を図るものです

令和3年3月に策定した試行要領では、受注者が希望した工事で、検査値等が映像で確認でき、工事の品質に影響を及ぼさない工事を対象としており、受注者が取り組みやすいよう、細かい仕様を設げず、機器に

についても受注者が保有するスマートフォン等で実施することができるようになっています。また、現場の遠隔臨場に加え、活用場所を増やすため、その他会議や打合せ等においても積極的に活用を図れるようにもしています。

遠隔臨場で監督員に提出する実施状況写真の撮影方法は、次に示す2つの方法があります。

- ①ビデオ通話画面上に監督員の映像を表示させた状態で、スクリーンショット撮影する方法
- ②ビデオ通話画面上に監督員の映像を表示させた状態で、端末を別のカメラで撮影する方法

#### 例①：通信中の画面キャプチャ



#### 例②：通信中の端末を含む写真



令和5年度からは、工事に加えて業務委託でも実施を可能としたところであり、引き続き受発注者双方の業務の効率化に向けて、しっかりと取り組んでいきたいと考えています。

## 5. 快適トイレについて

次に快適トイレの取組みについて説明します。

若者や女性など多様な人材の入職を促進するには、建設現場を男女共に働きやすい環境に改善すること

が必要不可欠であると考えています。

このため、平成29年度から男女共に快適に使用できる仮設トイレ、通称「快適トイレ」を導入しました。

快適トイレとは、洋式便座や水洗機能、照明器具などを備えたトイレで、3千万円以上の工事を対象に実施しているほか、3千万円未満の工事でも受注者から希望があれば対象となります。



写真-4 快適トイレ（外部）



写真-5 快適トイレ（内部）

快適トイレを設置した受注者からは、膝にやさしく、高齢者に好評、臭いがなく、清潔感があり、きれいなどの声をいただいています。

快適トイレを設置した場合の費用については、変更設計で計上することとしており、従来のトイレとの差額について、1基当たり月5万1千円を上限として計上することができます。また、男女別で快適トイレを設置した場合は、2基まで費用を計上できます。なお、上限金額を超える費用については、別途、現場環境改善費の率計上分の対象としています。

## 6. 余裕期間制度の取り組みについて

最後に余裕期間制度の取り組みについてです。

建設業は就業者数が減少しており、限られた人材等を有効に活用するため、施工時期の平準化は有効な手

段と考えています。



図-4 余裕期間制度の概要

このため県では、令和2年6月から余裕期間制度を導入し、試行工事に取り組んでおり、昨年度は約180件の工事で発注しております。

対象工事は、災害復旧工事を除き、供用開始や関連工事等に影響がない工事及び当該年度及び翌債等で承認された期日を超えない工事としています。

余裕期間制度は、これまでの実工期に、受注者が資機材や建設労働者などを確保するための余裕期間を加えて発注し、受注者が余裕期間を含めた全体工期の中で着工及び完成日を任意で選択できる制度です。

なお、この制度は、受注者側の観点から施工時期の平準化を図るものであり、着工までの余裕期間の間は、現場代理人や主任技術者等の配置を要しません。

## 7. おわりに

本県では、こうした働き方改革の推進に向けた取組を通じて、建設業に対するイメージが新3K（給料がよく・休暇がとれ・希望が持てる）となるよう、引き続き、建設業の働き方改革の推進にしっかりと取り組んでまいります。